

al

MANUAL
DE
LUMINOTECNIA

Asociación Española de Luminotecnia



V. Japure Morales

MANUAL

DE

LUMINOTECNIA

PUBLICADO

POR LA

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LUMINOTECNIA

BAJO LA DIRECCIÓN DEL INGENIERO

EDUARDO CARVAJAL

PRIMERA EDICIÓN

PRECIO: CINCO PESETAS



MADRID

GRÁFICAS REUNIDAS, S. A.

HERMOSILLA, 96

1931

PRÓLOGO

El interés, siempre creciente, que en todas las actividades sociales se siente actualmente hacia el buen empleo de la luz, lucha en España con la falta de libros técnicos editados en nuestro idioma, que encaucen ese buen deseo exponiendo los fundamentos de la luminotecnia y enseñando los procedimientos más en uso para conseguir en cada caso un adecuado empleo de la luz.

El deseo que nos impulsa a publicar este MANUAL, no es otro que el de suplir, siquiera sea de modo muy imperfecto, esa falta de obras técnicas en español, poniendo así modestamente nuestra primera piedra, en la seguridad de que otros seguirán la obra emprendida, ya que el tema es fuertemente atractivo y de una indudable utilidad.

Hemos querido hacer una obra de divulgación al alcance de todos, eminentemente práctica y en la cual si no se encuentran expresamente resueltos cuantos problemas puedan presentarse, cosa imposible dada la enorme extensión que el tema abarca, se encuentran al menos claramente expuestos los fundamentos básicos de los que puedan deducirse normas para resolver cualquier caso particular.

PROLOGO

El autor, al preparar este manual, ha tenido en cuenta la necesidad de que el lector pueda comprender los principios de la luminotecnica, y para ello ha tratado de explicarlos de una manera sencilla y clara, sin perder de vista la importancia de los detalles. El libro está dividido en tres partes: la primera trata de los principios generales de la luminotecnica, la segunda de los materiales y la tercera de los aparatos. En la primera parte se trata de la luz, de su naturaleza, de su propagación, de su intensidad, de su color, de su efecto fisiológico, etc. En la segunda parte se trata de los materiales que se utilizan en la luminotecnica, como el vidrio, el metal, el papel, etc. En la tercera parte se trata de los aparatos de iluminación, como las lámparas, los reflectores, etc. Este manual está destinado a los estudiantes de la carrera de Ingeniería, y a los técnicos que se dedican a la luminotecnica. El autor espera que este manual sea útil para ellos.

MANUAL DE LUMINOTECNIA

MANUAL DE LUMINOTECNIA

CAPÍTULO PRIMERO

PRODUCCIÓN Y TRANSMISIÓN DE LA LUZ

Naturaleza de la luz. — La teoría más generalmente admitida considera la luz como una forma particular de la energía que irradian los cuerpos luminosos, transmitiéndose a través del espacio, a semejanza del calor y las radiaciones electromagnéticas, sin necesidad de un medio material de transmisión.

El físico holandés Huygens lanzó la teoría, hoy muy discutida, que supone que la transmisión de la luz es debida a las vibraciones de un medio especial llamado *éter*. Este medio se supone formado de un conjunto de partículas yuxtapuestas y en estado de equilibrio por la acción de las fuerzas que unas ejercen sobre las otras; si este estado de equilibrio se rompe por una acción exterior que imprime un movimiento a una de las partículas, este movimiento se transmite a las demás sucesivamente; si el movimiento de que se supone animada esta partícula es vibratorio, el movimiento que animará a las partículas próximas y que ellas transmiten a su vez será igualmente vibratorio o en forma de *onda* que avanza gradualmente, a semejanza de las ondas

que se forman sobre la superficie en reposo de un estanque al choque de una piedra.

Este movimiento se propaga en línea recta y con una velocidad que para la luz alcanza la cifra de 300.000 kilómetros por segundo.

En todo movimiento vibratorio hay que tener en cuenta los siguientes factores: la *velocidad* de propagación (v); la frecuencia (f), igual al número de vibraciones completas o períodos por segundo, y la longitud de onda (λ), o sea, el avance del movimiento vibratorio durante un período completo.

De las definiciones se deduce que:

$$v = f \lambda \text{ , , } \lambda = \frac{v}{f} \text{ .}$$

Para la luz tenemos, como ya se ha indicado:

$$\lambda \times f = 300.000 \text{ kilómetros por segundo.}$$

Radiaciones luminosas. — La luz está constituida por una serie de radiaciones de determinada longitud de onda, que tienen la propiedad de impresionar el nervio óptico, y se caracterizan por tener una longitud de onda muy pequeña y una gran frecuencia. La longitud de onda en las radiaciones luminosas se mide en *micrones* o *milésimas de milímetro*, unidad que se designa con la letra griega μ (1).

Rayos ultravioleta. — En la región *ultravioleta* del espectro, las longitudes de onda son más cortas y las radiaciones no son visibles, pero son capaces de producir otros efectos fisiológicos. Las radiaciones cuyas longitudes de onda están comprendidas

(1) Esta unidad no constituye un límite inferior. Se emplea también el símbolo $m\mu$ para indicar el *milimicrom* o *milésima parte del microm* y la unidad Angström, designada \AA , igual a $0,1 \text{ } m\mu$, o sea, 10^{-7} m/m , usada en la designación de longitudes de onda de rayos X y rayos *gamma*.

entre $0,4\mu$ y $0,305\mu$ se emplean en medicina (1). Estas radiaciones son perjudiciales para los ojos.

Las radiaciones de longitud de onda inferior a $0,305\mu$ son peligrosísimas para la vista y ejercen acción destructora sobre los tejidos animales.

Las radiaciones emitidas por las lámparas eléctricas de incandescencia son completamente inofensivas desde este punto de vista; en cambio, las lámparas de arco abiertas y algunas de descarga en atmósfera de gas, pueden ser peligrosas.

Rayos infra-rojos. — Más allá de la zona roja del espectro, las radiaciones de longitud de onda superior a $0,75\mu$ son caloríficas, no siendo sensibles a la vista, sino al tacto. En la lámpara eléctrica, cuyo único fin es el de iluminar, sería muy interesante poder eliminar estas radiaciones que sólo producen una pérdida de energía.

Escala de vibraciones. — En el cuadro número 1 están incluidas algunas radiaciones características, con indicación de su longitud de onda y frecuencia.

(1) La eficacia de estas radiaciones se determina por la llamada «dosis de eritema», designando esta palabra el fenómeno que se produce en la piel humana después de una prolongada exposición a las radiaciones solares.

CUADRO NÚMERO I

LONGITUDES DE ONDA Y FRECUENCIA PARA DIFERENTES RADIACIONES

LONGITUD DE ONDA	FRECUENCIA	RADIACIONES
$0,0001 \mu - 0,000005 \mu =$ $= 1 \text{ Å} - 0,05 \text{ Å}$ $0,38 \mu$	$3 \times 10^{18} - 60 \times 10^{18}$ $7,5 \times 10^{14}$	Rayos X. Rayos ultravioleta.
$0,40 \mu$ $0,49 \mu$ $0,57 \mu$ $0,59 \mu$ $0,65 \mu$ $0,75 \mu$	7×10^{14} $6,1 \times 10^{14}$ $5,25 \times 10^{14}$ $5,1 \times 10^{14}$ $4,6 \times 10^{14}$ 4×10^{14}	Luz violeta. Luz azul. Luz verde. Luz amarilla. Luz naranja. Luz roja. <div style="text-align: center;">} Radiaciones visibles.</div>
300μ 100 m. 2 km. 10 km. 6.000 km.	10^{12} $3.000.000$ 150.000 30.000 50	Rayos infra-rojos. Onda corta de radiotransmisión. Onda media de radiotransmisión. Onda larga de radiotransmisión. Corriente alterna industrial.

Conviene tener muy en cuenta que los rayos químicos, luminosos y caloríficos, forman siempre el conjunto de una radiación compleja, y se producen simultáneamente por los cuerpos que se llevan al estado incandescente.

Al calentar un cuerpo, emite radiaciones cuya frecuencia aumenta con la temperatura; a temperaturas inferiores a la de incandescencia, las radiaciones serán sólo caloríficas, por tanto, de gran longitud de onda; al llegar al estado incandescente emitirán rayos luminosos, cada vez de mayor frecuencia, a medida que elevamos la temperatura. Claro está que estas radiaciones no son más que una transformación de la energía que consumimos para calentar el cuerpo en cuestión; si esta energía cesa en su actuación, sobreviene el enfriamiento y cesa la emisión de radiaciones. Conviene tener muy en cuenta este fenómeno, base del funcionamiento de las lámparas eléctricas de incandescencia, bien en vacío o en atmósfera gaseosa.

CAPÍTULO II

VISIÓN

El ojo humano.—En la figura 1 puede verse un corte esquemático del ojo humano.

La *esclerótica* (1) forma el globo del ojo. La *córnea* (2), por su transparencia, admite la entrada de la luz en el interior del ojo. La *coroides* (3) tapiza interiormente la córnea y efectúa las funciones de nutrición. Los *músculos ciliares* (4) están ligados al *crystalino* (5) y al

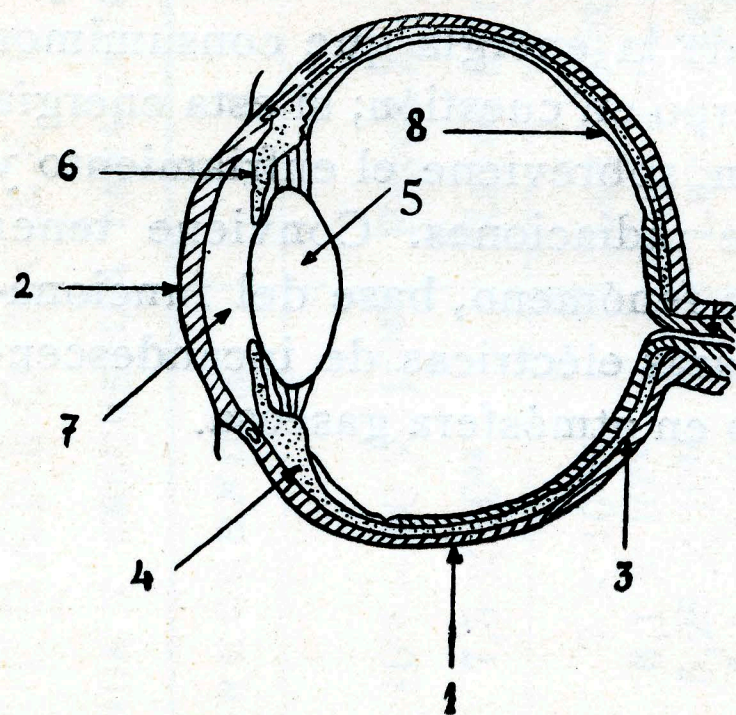


Fig. 1.

iris (6), y modificando la curvatura del primero o abriendo y cerrando la pupila, efectúan las operaciones de *acomodación* y *adaptación* de la imagen vista (*enfocar* y *diafragmar* en lenguaje fotográfico). El iris está suspendido dentro del *humor acuoso* (7) y tapizando la parte interna del fondo del ojo está la *retina* (8), que es la zona más esencial, compuesta de diez capas y que transmite, mediante el nervio óptico, las impresiones al cerebro.

Proceso de la visión.—Para juzgar de la calidad

de un alumbrado artificial precisa conocer, siquiera de un modo somero, los factores que interesan el proceso de la visión.

Visibilidad de las radiaciones.—Como hemos indicado en el capítulo anterior, la visibilidad de las radiaciones depende de su frecuencia, alcanzando un máximo para longitudes de onda próximas a

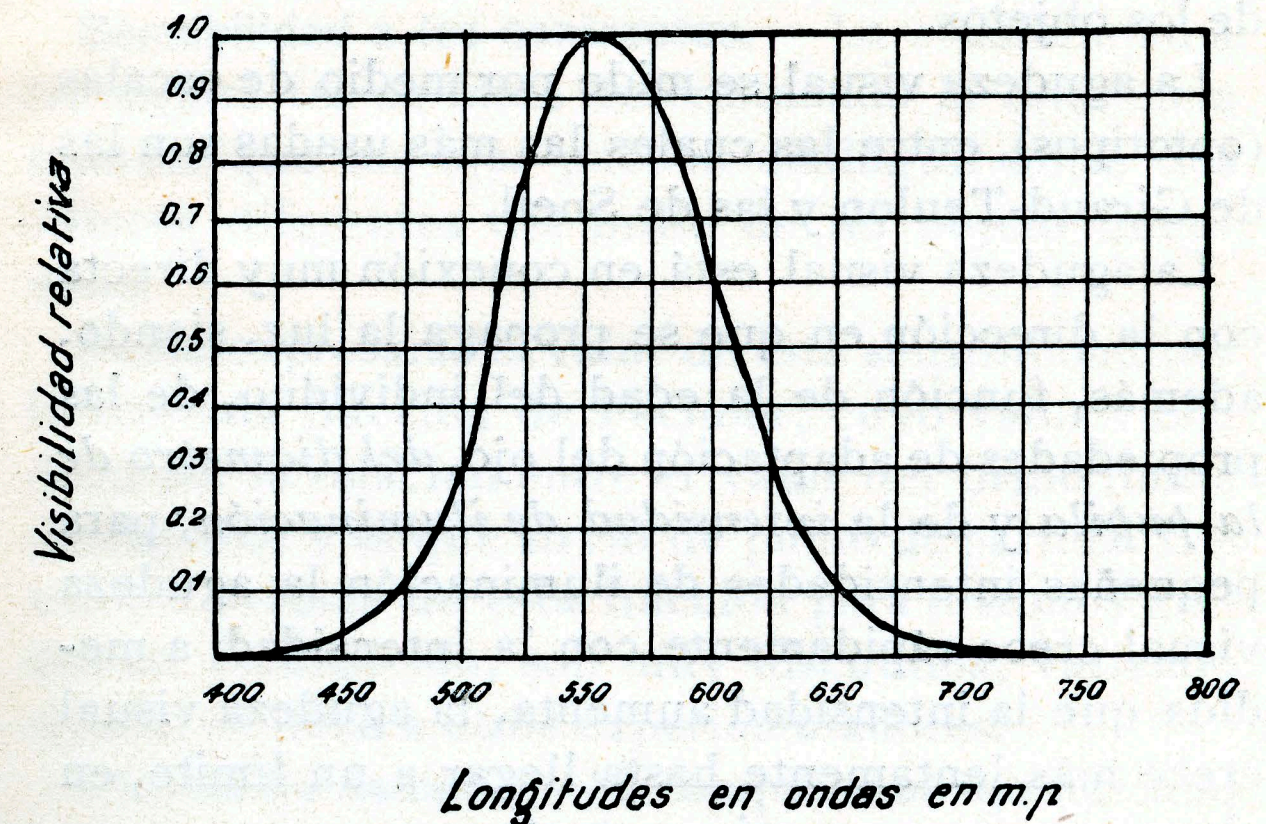


Fig. 2.

0,55 μ , o sea en la zona del espectro comprendida entre los colores verde y amarillo.

En la figura 2 puede verse la curva de visibilidad relativa en función de las longitudes de onda.

Diferenciación de colores.—Los objetos, al recibir la luz blanca, absorben una cierta cantidad de radiaciones y reflejan otras; la calidad de la luz reflejada define el color de los objetos. Si un objeto absorbe todas las radiaciones que recibe, decimos que es *negro*; si las refleja a todas, decimos que es *blanco*.

Para ojos normales, la facultad de distinguir las

diferentes coloraciones de los objetos depende de las condiciones en que la visión se efectúe (intensidad de la luz, calidad de la misma, etc.)

Agudeza visual. — Se entiende por *agudeza visual* el límite extremo de la facultad de percepción distinta de las formas. Se mide por el *ángulo visual límite*, o sea el ángulo visual más pequeño, bajo el cual los ojos pueden diferenciar la forma de los objetos.

La agudeza visual se mide por medio de escalas (optotipos), entre las cuales las más usadas son las de Giraud-Teulon y las de Snell.

La agudeza visual está en conexión muy directa con la dirección en que se propaga la luz, siendo, además, función de la edad del individuo, de las propiedades de adaptación del ojo, *del diámetro de la pupila* y de la *intensidad de iluminación*; para pequeñas intensidades de iluminación la agudeza visual crece rápidamente con la intensidad; a medida que la intensidad aumenta, la agudeza visual crece más lentamente hasta llegar a un límite, en el que permanece casi constante.

Habría que distinguir entre la agudeza visual *fisiológica* y la *profesional*, ya que esta última no es igual para los distintos oficios, lo que puede prestarse a errores lamentables al juzgar un caso de invalidez para el trabajo por defectos en el aparato visual.

La facultad de *adaptación*, de que ya hemos hablado, proporciona a los ojos la posibilidad de distinguir con claridad objetos situados a distintas distancias, naturalmente entre ciertos límites.

Sensibilidad al brillo. — Como más adelante veremos, se entiende por *brillo* de una superficie iluminada, la cantidad de luz por centímetro cuadrado de superficie aparente. La sensibilidad de los ojos

al brillo de las superficies vistas, varía entre límites muy extensos y no está regulada solamente por la *adaptación* o facultad de la pupila de contraerse y dilatarse, dejando llegar a la retina mayor o menor cantidad de luz; la acción del iris es más bien momentánea y preserva a la retina de un efecto brusco durante el tiempo necesario para que el resto del proceso de la visión se efectúe.

Sensibilidad a los contrastes. — La sensibilidad a los contrastes se mide determinando la diferencia mínima que los ojos pueden distinguir entre dos valores diferentes del brillo de un objeto iluminado.

Suele expresarse el valor de esta sensibilidad por la llamada fracción de Fechner, cuyo valor viene dado por la relación entre el valor del brillo límite perceptible y el que sirvió de punto de partida. Los valores medios de esta fracción para distintos grados de iluminación, son muy discutidos, variando mucho de unos a otros experimentadores.

Efectos de tiempo. — Al comparar al ojo humano con una cámara fotográfica se dice, con razón, que una de sus diferencias es que el ojo no hace *instantáneas*, trabajando únicamente con *exposición*.

En efecto, la reacción ocular necesita un cierto tiempo para efectuarse por completo, siendo preciso un cierto intervalo para que la imagen se forme y otro para que desaparezca y sea sustituida.

La adaptación de los ojos a los diferentes grados de iluminación es, por otro lado, un proceso relativamente lento. El iris o diafragma opera instantáneamente, pero el proceso en la retina se opera mediante una reacción fotoquímica, bastante complicada, que requiere tiempo para completarse. Mientras los ojos están en movimiento no pueden ver, siendo preciso que se fijen sobre el objeto

observado para que su imagen se forme en la retina.

Ahora bien: en la práctica los ojos están en continuo movimiento, haciendo únicamente cortas paradas cuando alguna parte especial del campo de visión reclama su atención. La imagen en la retina se forma, por tanto, en estas pausas, y si la intensidad de iluminación no es la necesaria, los objetos, bien en totalidad o en sus detalles, no se ven. Por tanto, los ojos emplean en la visión propiamente dicha sólo una fracción del tiempo total durante el cual trabajan, dependiendo el valor de esta fracción de la clase de trabajo a que se les aplica. Este momento de reposo que los ojos necesitan para que la imagen se forme correctamente en la retina está valorado, para una buena iluminación, en 0,07 a 0,10 de segundo; si la intensidad de iluminación decrece, el tiempo de *reacción* aumenta y la visión se hace lenta e imperfecta.

Igualmente las imágenes formadas en la retina necesitan un cierto tiempo para desaparecer, siendo este fenómeno el fundamento del cinematógrafo y de diferentes experimentos stroboscópicos. El intervalo máximo entre dos imágenes sucesivas para obtener la apariencia de continuidad es de $\frac{1}{16}$ de segundo.

Deslumbramiento. — El choque de un rayo luminoso sobre la parte sensible de la retina produce, como hemos visto, una reacción fotoquímica proporcional a la intensidad del rayo luminoso y al tiempo que dura su actuación.

Si miramos un cuerpo luminoso de gran brillo (el sol, una lámpara eléctrica desnuda, etc.) se produce el deslumbramiento, la porción de la retina afectada queda agotada y ciega durante el tiempo preciso

para que se regenere la sustancia fotoquímica (púrpura retiniana) y pueda entrar de nuevo la retina en actividad.

El deslumbramiento puede ser *directo*, por *reflexión* y por *contraste*.

Las principales causas del deslumbramiento directo son el brillo excesivo de las superficies luminosas, la colocación defectuosa de los focos luminosos en el campo visual y por contraste acentuando con relación al fondo.

La primera causa del deslumbramiento se evita mediante las envolventes difusoras, que disminuyen la intensidad de iluminación por centímetro cuadrado, de las que el ejemplo más sencillo es la misma lámpara eléctrica esmerilada al interior, cuyo uso se va generalizando. Al tratar en capítulos sucesivos del *brillo* y de la *difusión*, insistiremos sobre este punto. Otro procedimiento consiste en el empleo del alumbrado indirecto, cuyo fundamento no es otro que el enviar todo el flujo del cuerpo luminoso *primario* de gran brillo (lámpara eléctrica) directamente al techo de la habitación, que se convierte en cuerpo luminoso *secundario* de poco brillo.

Con relación a la colocación de los puntos luminosos hay que tener en cuenta que aun provistos de envolventes difusoras pueden producir deslumbramiento si están colocados demasiado cerca de los ojos o demasiado cerca del eje de visión. La línea que una el punto luminoso con los ojos debe formar con la horizontal un ángulo superior a 30 grados. Es esta una condición fundamental y sin embargo se observa raramente.

Un ejemplo de deslumbramiento por contraste con relación al fondo, nos lo ofrece los faros de los automóviles, que encendidos de día pasan inadver-

tidos, en tanto que en el fondo oscuro de la noche deslumbran fuertemente. De la misma manera una luz corriente produce más deslumbramiento si se destaca sobre un fondo negro que si lo hace sobre un fondo claro. Por esta razón se aconseja decorar en tonos claros el techo y paredes de las habitaciones, estas últimas en su tercio superior.

El deslumbramiento por reflexión lo producen las superficies lisas, como la madera barnizada, los esmaltes, el papel, etc. Esta clase de deslumbramiento encierra el peligro de que pueda pasar inadvertido; así, escribiendo o dibujando durante algunas horas sobre papel blanco con un alumbrado mal dispuesto, se sufren los efectos de este deslumbramiento, que se traducen en fuertes dolores de cabeza, muchas veces atribuidos a debilidad cerebral y producidos en realidad por el esfuerzo a que hemos estado sometiendo nuestra vista.

El deslumbramiento por contraste se siente cada vez que los ojos pasan de una zona oscura a una iluminada y viceversa; los ojos necesitan adaptarse cada vez a las condiciones de iluminación, y esta operación muy repetida, a más de producir una pérdida muy apreciable de tiempo, acaba por causar una gran fatiga. Tal sucede cuando se emplea una luz oscilante o cuando se trabaja con alumbrado individual provisto de reflector profundo dejando oscuro el resto de la habitación, procedimiento nada recomendable.

Si el punto luminoso deslumbrante no es muy intenso, nos distrae en el trabajo haciéndonos desviar involuntariamente la vista hacia él.

Si aumenta el brillo en el punto deslumbrante, se nota sensación de molestia, el iris se contrae al límite y los párpados tienden a cerrarse para evitar que la luz llegue hasta la retina; siendo el brillo de

la imagen que se forma en la retina proporcional al cuadrado del diámetro de la pupila, la visión en estas condiciones se efectúa mal, los ojos se fatigan extraordinariamente, y si la acción del punto deslumbrante se prolonga o se repite con frecuencia, puede llegar a producir en los ojos lesiones de im-

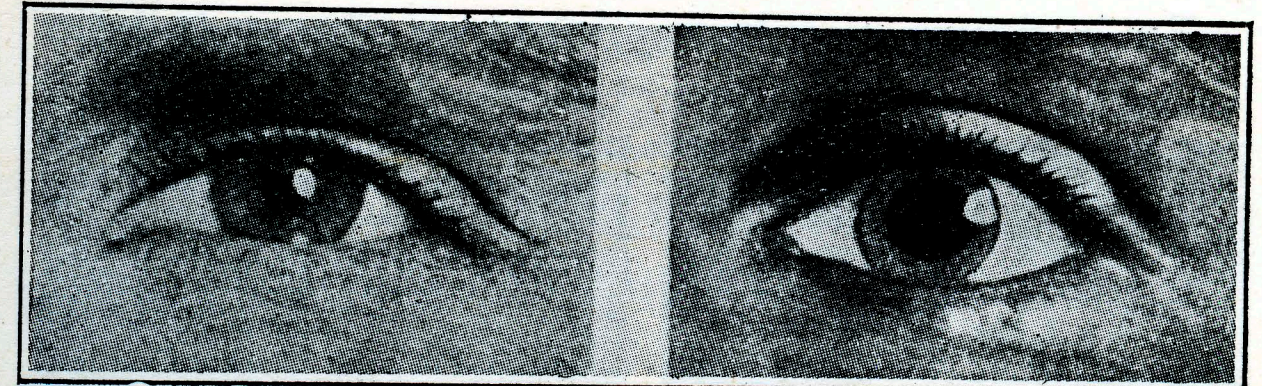


Fig. 3.

portancia. La catarata de los vidrieros es debida, según muchos autores, a la necesidad de mirar con frecuencia a la masa de vidrio fundido.

Produce además el deslumbramiento postimáge-



Fig. 4.

nes, persistentes en la retina aun después de desaparecida la causa del deslumbramiento, que dificultan durante un cierto tiempo la visión normal,

El deslumbramiento, por tanto, debe evitarse en absoluto en toda instalación de alumbrado, dedicando en cada caso toda la atención necesaria a este punto cuando se trate de estudiar un proyecto.

En la figura 3 puede verse a la izquierda el efecto de la pupila contraída a causa del deslumbramiento y a la derecha la pupila normal.

En la figura 4, a la izquierda un obrero trabaja

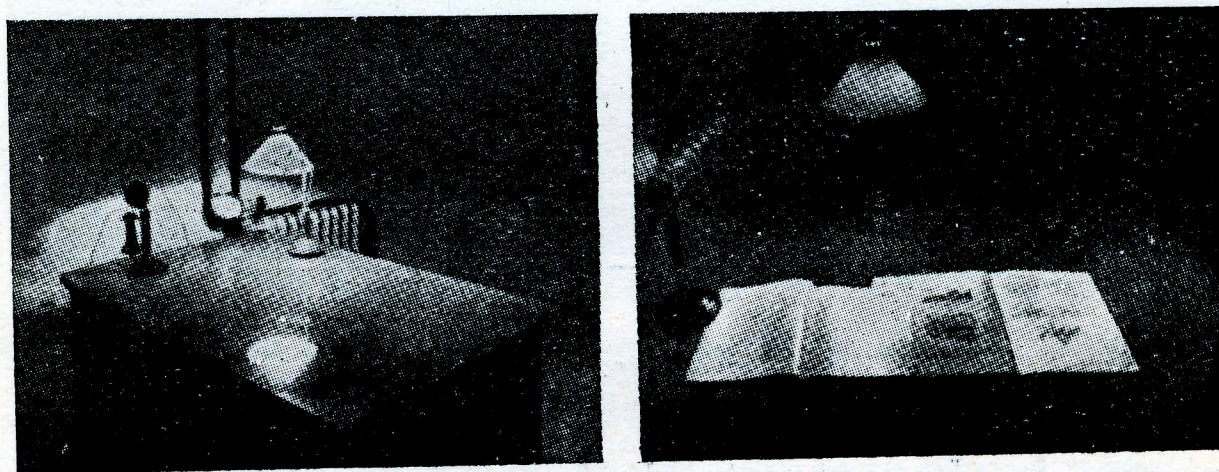


Fig. 5.

bajo un alumbrado racional, en tanto que a la derecha sufre los efectos del deslumbramiento.

En la figura 5, un ejemplo de deslumbramiento por reflexión, producido por la madera barnizada de la mesa.

Fatiga ocular.—Salvo en condiciones especiales de trabajo en que la luz solar puede ser perjudicial a la vista, hay que admitir que esta luz es inofensiva en condiciones normales, ya que la constitución y funcionamiento de los ojos deben ser las adecuadas precisamente a la calidad de la luz natural.

No sucede otro tanto con la luz artificial, y si las condiciones bajo las que se establece un alumbrado artificial son deficientes, se pueden causar graves perjuicios, no ya sólo a la vista, sino a la salud de las personas sometidas al mal alumbrado, puesto que hay que tener en cuenta que el ojo

humano no es un sistema aislado, sino una parte del organismo viviente y como tal en conexión más o menos directa con todos los demás. En los ojos están localizados reflejos de gran importancia y se comprende que las vibraciones luminosas puedan provocar en el organismo alteraciones sumamente peligrosas.

La patogenia de la fatiga ocular es poco conocida, pero sus síntomas están perfectamente estudiados, no entrando en detalles sobre este particular por no estimarlo propio de esta obra. Únicamente indicaremos que los factores principales de la fatiga ocular son los siguientes:

Un alumbrado *insuficiente* produce indudablemente el agotamiento rápido del órgano de la visión. Esto es consecuencia de una ley biológica, según la cual un órgano no puede trabajar en los límites de su máximo esfuerzo sino a costa de una fatiga insostenible.

Un alumbrado mal dirigido por colocación inadecuada de los puntos de luz, exige muchas veces de los ojos esfuerzos de acomodación y de convergencia perjudiciales.

El empleo inadecuado del alumbrado directo produce el deslumbramiento.

Las oscilaciones en la luz obligan a un continuo trabajo de adaptación, que acaba por imposibilitar la visión por completo.

CAPÍTULO III

MEDIDA DE LA LUZ.—FOTOMETRÍA

Definiciones y unidades de medida. — Flujo luminoso.— Entendemos por *flujo luminoso* la cantidad de luz radiada en todas direcciones por un foco luminoso en la unidad de tiempo.

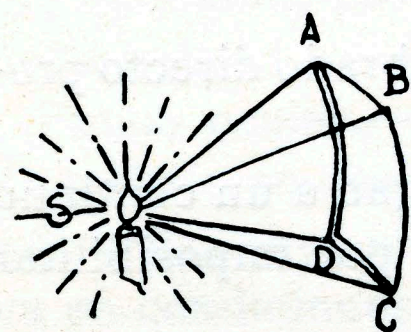
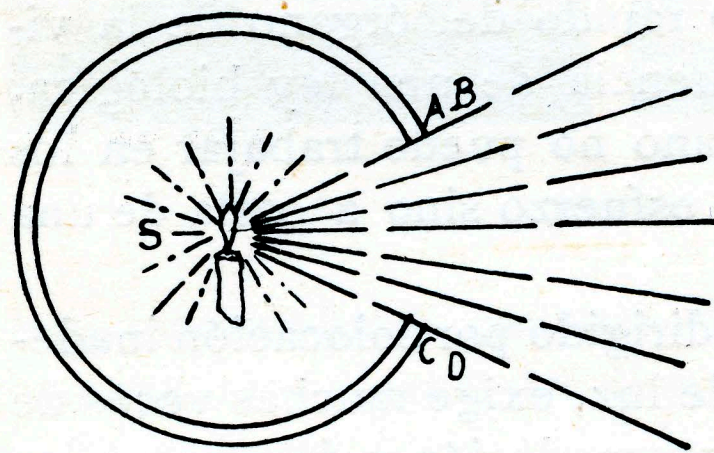


Fig. 6.

Supongamos (figura 6) una esfera hueca de un metro de radio; en su centro un punto luminoso de intensidad igual a una bujía; si separamos de la superficie de dicha esfera un trozo de un metro cuadrado ($A B - C D$), por la abertura practicada pasará una cierta cantidad de flujo luminoso, comprendido dentro del

La unidad de medida del flujo luminoso es el *lumen* que corresponde a la cantidad de flujo que, emitida por un punto luminoso, cuya intensidad sea de una bujía decimal, en todas direcciones, es interceptada por el ángulo sólido unitario.

Supongamos (figura 6) una esfera hueca de un metro de radio; en su centro un punto luminoso de intensidad igual a una bujía; si separamos de la superficie de dicha esfera un trozo de un metro cuadrado ($A B - C D$), por la abertura practicada pasará una cierta cantidad de flujo luminoso, comprendido dentro del

Supongamos (figura 7) un punto luminoso situado

ángulo sólido $S - A B C D$, cuyo valor es igual a un lumen.

Como la superficie de la esfera de radio igual a un metro es igual a 12,57 metros cuadrados, se ve que un punto luminoso de intensidad igual a una bujía internacional en todas direcciones emitirá un flujo luminoso total igual a 12,57 lúmenes.

El flujo se designa generalmente con las letras Φ ó F .

Se llama para abreviar «flujo total» o «global» de un punto o superficie luminosa al conjunto de flujo emitido (F_0); «flujo superhorizontal» ($F \supset$), emitido por encima del plano horizontal que pasa por el centro del punto luminoso; «flujo subhorizontal» ($F \subset$), cuando se considera el flujo emitido por debajo, y «flujo zonal» ($F <$), el emitido por un foco luminoso de revolución entre dos conos de revolución cuyos ángulos son conocidos.

Intensidad luminosa.— El concepto de flujo luminoso nos da idea de la potencia del foco productor de luz en todas direcciones, pero no nos da ninguna indicación del reparto de la luz en una dirección determinada.

Para caracterizar este reparto hemos de considerar

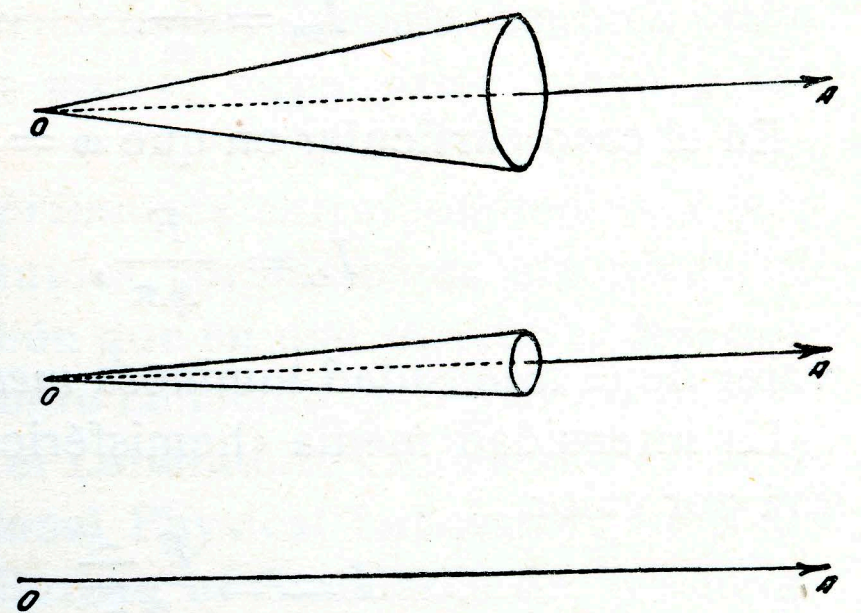


Fig. 7.

otra magnitud llamada *intensidad luminosa en una dirección dada*.

Supongamos (fig. 7) un punto luminoso situado

en O ; fijemos la atención en el flujo comprendido en un cono cuyo vértice esté también en O ; si materializamos este cono con la imaginación, tendremos un ángulo sólido. Dividiendo el valor del flujo por el ángulo sólido tendremos la *densidad de repartición* del flujo luminoso en esta porción del espacio.

Si suponemos que el cono se va estrechando, recogiénose sobre su eje, en el límite se convertirá en una recta o *rayo luminoso*. La intensidad luminosa en la dirección de este rayo es el valor límite de la densidad del flujo en el ángulo sólido considerado.

Llamando I a esta intensidad tendremos:

$$I = \frac{dF}{d\omega}.$$

Considerando un ángulo sólido de dimensiones finitas ω que comprenda el flujo Φ , la intensidad media vendrá definida por la relación

$$I_m = \frac{F}{\omega}.$$

En el caso particular en que $\omega = 4\pi$, se tiene

$$I_o = \frac{F}{4\pi},$$

valor de la intensidad luminosa *media esférica*.

La intensidad media «hemisférica superior» tendrá por valor

$$I_{\cap} = \frac{F_{\cap}}{2\pi}$$

y la intensidad media *hemisférica inferior*

$$I_{\cup} = \frac{F_{\cup}}{2\pi}.$$

Por *intensidad media horizontal* se entiende la media de la intensidad del punto luminoso en todas las direcciones del plano horizontal que pasa por su centro.

Factor de reducción de la intensidad media esférica de un punto luminoso, es la relación entre la intensidad media esférica y la intensidad media horizontal.

Como el valor del ángulo sólido viene dado por un número abstracto, el flujo y la intensidad luminosa son magnitudes de igual dimensión.

La unidad de medida de la intensidad luminosa variaba de unos países a otros hasta que en el Congreso de electricistas de París, en 1889, Violle propuso la unificación refiriéndolas al patrón platino, fundándose la unidad llamada «violle», definida por la intensidad medida sobre un centímetro cúbico de platino en su punto de solidificación.

No siendo fácil de realizar esta unidad tipo, en 1909 se estableció un convenio entre Francia, Inglaterra y Estados Unidos, adoptando como medida tipo la *bujía internacional*, llamada también *bujía decimal* o *bujía metro*, cuyo valor viene a ser 1/20 de Violle.

Los patrones *primarios* correspondientes a esta unidad y constituidos por lámparas eléctricas de filamento de carbón que en una dirección determinada dan un número conocido de bujías decimales, se conservan en el Laboratoire Central d'électricité de Paris, el National Physical Laboratory de Paddington y en el Bureau of Standards de Washington, y son comprobados frecuentemente entre ellos para garantía de su inalterabilidad.

De estos patrones primarios se obtienen, por comparación, los secundarios empleados en la industria y los laboratorios.

En Alemania, Suiza, Austria y algunos otros países, se emplea la *bujía Hefner*, que es igual a 0,9 bujías internacionales.

En el cuadro II insertamos las equivalencias entre las diferentes unidades de medida de la intensidad.

CUADRO II
EQUIVALENCIAS ENTRE DISTINTAS UNIDADES DE MEDIDA DE INTENSIDAD LUMINOSA

	Violle	Cárcel	Bujía alemana	Bujía inglesa	Bujía decimal	Hefner
Violle.....	1,000	2,080	16,400	18,500	20,000	22,200
Cárcel.....	0,481	1,000	7,890	8,910	9,600	10,700
Bujía alemana.....	0,061	0,127	1,000	1,130	1,220	1,350
Bujía inglesa.....	0,054	0,112	0,886	1,000	1,080	1,200
Bujía decimal.....	0,050	0,104	0,802	0,902	1,000	0,900
Hefner.....	0,045	0,094	0,740	0,830	0,900	1,000

Iluminación. — La *iluminación* representa realmente el *efecto útil* de la luz. Cuando una cierta cantidad de flujo luminoso cae sobre una superficie cualquiera, ésta quedará más o menos iluminada según que la *densidad* del flujo luminoso sobre la superficie sea mayor o menor.

La *iluminación media* de una superficie vendrá por tanto dada por el cociente

$$E_m = \frac{F}{S}.$$

La iluminación de una superficie puede variar de un punto a otro, y claro está que cuanto más pequeña sea la superficie, la diferencia entre la iluminación media y la iluminación en un punto cualquiera será más pequeña. Si suponemos el límite cuando la superficie sea infinitamente pequeña, quedando reducida a un punto, podremos definir la iluminación en un punto dado de una superficie como la densidad del flujo luminoso sobre la superficie en el punto considerado, valor definido por la ecuación

$$E = \frac{dF}{dS}.$$

La unidad práctica de medida de la iluminación es el *lux*, que es la iluminación de una superficie que recibe (o emite) un flujo uniformemente repartido de 1 lumen por metro cuadrado.

También puede definirse como la iluminación que recibe una esfera de 1 metro de radio, en cuyo centro se coloca una bujía internacional. Por esta razón se llama también el lux *bujía metro*.

Si se toma como unidad de superficie el centímetro cuadrado, en vez del metro, tendremos la unidad C. G. S. de iluminación llamada *fot* =

= 10.000 lux, empleándose también su submúltiplo el *milifot*.

Los ingleses y americanos emplean el *foot-candle* y los alemanes suelen emplear el *hefner-metro* y el *hefner-pie*.

En los cuadros números III y IV se expresan las equivalencias entre todas estas unidades.

CUADRO III

EQUIVALENCIAS ENTRE MEDIDAS DE ILUMINACIÓN

RESULTADOS EXPRESADOS EN	FACTOR DE TRANSFORMACIÓN			
	Hefner-metro	Hefner-pie	Bujía-pie	Bujía-metro
1 Hefner-metro.....	1	0,0926	0,0834	0,9000
1 Hefner-pie.....	10,79	1	0,9009	9,71
Bujía (int.)-pie.....	11,98	1,11	1	10,76
Bujía (int.)-metro.....	1,11	0,103	0,0926	9,65

CUADRO IV

EQUIVALENCIAS ENTRE MEDIDAS DE ILUMINACIÓN

RESULTADOS EXPRESADOS EN	FACTOR DE TRANSFORMACIÓN			
	Lux	Fot	Milifot	Foot-candle
1 Lux.....	1	0,0001	0,1	0,0929
1 Fot.....	10,000	1	1000	929
1 Milifot.....	10	0,001	1	0,929
1 Foot-candle.....	10,764	0,001076	1,0764	1

Brillo. — Se entiende por *brillo* de una superficie en una dirección determinada, el cociente de la intensidad luminosa emitida por la superficie en esta dirección por el área aparente en la dirección que consideramos. Viene definido por la ecuación

$$B = \frac{dI}{dS \cos \alpha},$$

en la que α representa el ángulo entre la normal a la superficie y la línea de visión.

Es preciso no confundir la iluminación de una superficie con su *apariencia*; ésta puede ser brillante o no. Una superficie gris iluminada con la misma intensidad que una superficie blanca, colocada en las mismas condiciones, aparecerá con menos brillo; esto es debido a que la superficie gris absorbe mayor cantidad de luz. El brillo, por tanto, de una superficie iluminada dependerá de dos factores: la iluminación de la superficie considerada y de su *poder reflector*, esto es, de la forma en que esta superficie refleja la luz.

La unidad de medida del brillo es el *lambert* o bujía por centímetro cuadrado (1 lambert = 10^4 lux), empleándose también la bujía-metro cuadrado, cuyo valor es de 10 mililamberts. En el cuadro número V se consignan, expresados en bujías por centímetro cuadrado, los brillos de diferentes superficies luminosas.

Luminosidad o iluminación aparente de una superficie iluminada es la relación entre el flujo emitido (por radiación o transparencia) y el área de la superficie:

$$e = \frac{dF}{dS}.$$

La unidad de medida es el lux o el lambert cuando se trata de apreciar grandes valores.

Una superficie iluminada con una intensidad de E lux tiene una luminosidad

$$e = \rho E,$$

siendo ρ el *factor de reflexión*.

CUADRO V

BRILLO DE DIFERENTES SUPERFICIES LUMINOSAS

SUPERFICIES LUMINOSAS	Brillo (lamberts)
Cielo claro.....	0,4
Vela ordinaria.....	0,5
Tubo Moore.....	0,1
Tubo de vapor de mercurio	2,3
Lámpara de filamento de carbón.....	55
Lámpara de filamento de tungsteno en vacío.	200
Lámpara de filamento de vacío en atmósfera gaseosa de 100 w.....	580
Lámpara de filamento de vacío en atmósfera gaseosa de 500 w.....	1.000
Lámpara de filamento de vacío en atmósfera gaseosa de 1.000 w.....	1.200
Cráter del arco eléctrico	16.000

Exposición o cantidad de iluminación es el producto de la iluminación por su duración.

Su unidad de medida es el *fot-segundo* o el microfot-segundo.

Cantidad de luz es el producto del flujo luminoso por su duración. Su unidad de medida es el *lumen-hora*.

Factor de eficacia de un punto luminoso es el cociente del flujo luminoso emitido por la potencia

total consumida. La unidad de medida es el *lumen por watio*.

Factor de consumo de un punto luminoso es la inversa de su factor de eficacia. Su unidad de medida es el *watio por lumen*.

Factor de reflexión de una superficie es la relación entre el flujo difundido o reflejado por esta superficie y el flujo luminoso incidente.

El flujo reflejado según las leyes de la *reflexión regular* se llama flujo *reflejado regularmente*, y su factor correspondiente, factor de reflexión regular. El flujo *difundido* en direcciones distintas a la de la reflexión regular da el factor de *reflexión difusa* y el conjunto de ambos el *factor total de reflexión*.

Factor de absorción de un cuerpo es la relación entre el flujo absorbido por el cuerpo y el flujo luminoso incidente.

Factor de transmisión de un cuerpo es la relación entre el flujo luminoso transmitido y el flujo incidente.

Factor de luminosidad de una radiación de composición espectral determinada es la relación entre el flujo luminoso y el flujo de energía de la radiación considerada.

En el cuadro número VI resumimos las magnitudes.

CUADRO VI

MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS

MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS	Símbolo y ecuaciones	Nombre de la unidad	Abrevia- tura
Flujo.....	F ó Φ	Lumen.	l
Intensidad.....	$I = \frac{dF}{d\omega}$	Bujía internacional.	CC
Iluminación.....	$E = \frac{dF}{dS}$	Lux.	lm^2
Exposición.....	Et	Fot-segundo.	fs
Brillo.....	$B = \frac{dI}{dS \cos \theta}$	Microfot-segundo.	μfs
		Lambert.	$C: cm^2$
		Bujía por m^2	$C: m^2$
Luminosidad.....	$e = \frac{F}{S}$	Lux.	l
Factor de reflexión	$\rho = \frac{Fr}{Fi}$		
Factor de absorción.....	$a = \frac{Fa}{Fi}$		
Factor de transmisión.....	$\tau = \frac{Fr}{Fi}$		
Flujo global	F_0 .	Lumen.	l
Flujo subhorizontal.....	$F \supset$	Lumen.	l
Flujo superhorizontal.....	$F \frown$	Lumen.	l
Flujo zonal	$F <$	Lumen.	l
Intensidad media esférica.....	I_0	Bujía.	Co
Intensidad hemisférica inferior	$I \supset$	Bujía.	$C \supset$
Intensidad hemisférica superior.....	$I \frown$	Bujía.	$C \frown$
Intensidad media horizontal.	I_{hm}	Bujía.	C_{hm}
Factor de reducción de la intensidad esférica....	$f = \frac{I_0}{I_{hm}}$	Bujía.	f
Factor de luminosidad.....	$kl = \frac{F\lambda}{\Phi\lambda}$	Lumen por watio.	$l: w$
Cantidad de luz.	$Q = Ft$	Lumen hora.	Q
Eficacia.....	$y = \frac{F}{\tau w}$	Lumen por watio.	$l: w$
Consumo.....	$W_s = \frac{W}{l}$	Watio por lumen.	W_s

Ley de Lambert.—Es la ley fundamental de la *emisión* y puede enunciarse así:

La intensidad luminosa I_α de una superficie que emite luz en una dirección que hace el ángulo α con la normal es igual a la intensidad I_n en la dirección normal, multiplicada por el coseno del ángulo α :

$$I_\alpha = I_n \cos \alpha.$$

Para que esta ley se efectúe, es preciso que la superficie tenga el mismo brillo en todas direcciones. En efecto, suponiendo una superficie S con brillo uniforme B , su intensidad en la dirección normal será:

$$I_n = BS.$$

En una dirección inclinada un ángulo α con la normal, la superficie aparente será $S \cos \alpha$, y siendo el brillo el mismo, la intensidad tendrá por valor

$$I_\alpha = B S \cos \alpha = I_n \cos \alpha.$$

Esta ley sólo se verifica, por tanto, en superficies llamadas *perfectamente difusoras*, que no existen en la realidad.

Si a partir de un punto tomado sobre la superficie luminosa, trazamos los vectores correspondientes a los distintos valores I_α , el lugar geométrico de las extremidades de estos vectores es una superficie llamada *indicadora de emisión*, que para el caso de las superficies perfectamente difusoras es una esfera.

Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.—Supongamos, en la figura 8, un punto luminoso de

intensidad igual a una bujía en la dirección OX colocado en O ; si a la distancia de 1 metro colocamos una superficie $ABCD$, igual a 1 metro cuadrado perpendicularmente a la dirección OX , por definición sabemos que la iluminación de esta superficie será igual a 1 lux.

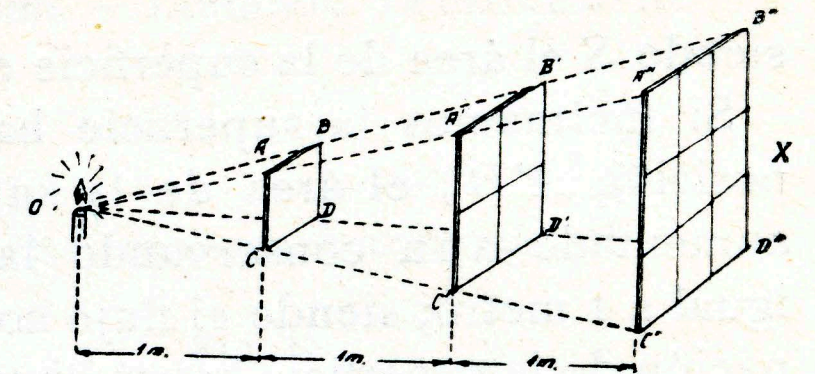


Fig. 8.

Si retiramos la superficie 1 metro llevándola a $A'B'C'D'$, la superficie será cuatro veces mayor, y como el flujo luminoso es el mismo, la iluminación valdrá $1/4$ de lux. De la misma manera para la superficie $A''B''C''D''$, distante 3 metros del punto luminoso, la iluminación será de $1/9$ de lux.

Siendo I la intensidad luminosa en una dirección determinada perpendicular a una superficie colocada a la distancia d del punto luminoso, el valor de la iluminación de esta superficie vendrá dado por la ecuación

$$E = \frac{I}{d^2}.$$

El valor de la iluminación es, por tanto, inversamente proporcional al cuadro de la distancia.

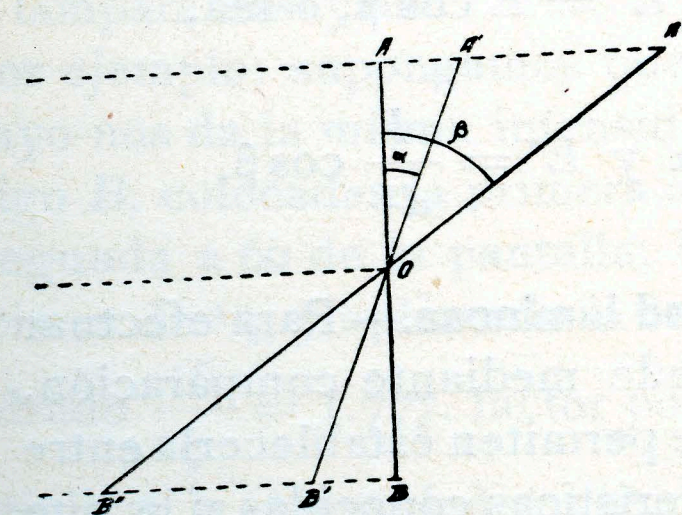


Fig. 9.

Ley del coseno.—Supongamos que la superficie de altura AB (fig. 9) y de ancho igual a 1 metro, recibe normalmente un flujo de F lú-

menes; su iluminación vendrá expresada por la ecuación

$$E = \frac{F}{S},$$

siendo S el área de la superficie en cuestión.

Si inclinamos la superficie hasta llevarla a la posición $A'B'$, el área de la superficie S' habrá aumentado aún conservando la misma anchura igual a 1 metro; siendo el flujo constante, la iluminación de la superficie habrá disminuído en la proporción $\frac{A'B'}{AB}$, puesto que la otra dimensión es constante; del mismo modo para la posición $A''B''$ la iluminación disminuye en la proporción $\frac{A''B''}{AB}$.

Por tanto, para tener las iluminaciones E' y E'' de estas superficies habrá que dividir la iluminación E de la superficie primitiva por las relaciones antes indicadas, o multiplicadas por sus inversas, de modo que

$$E' = E \frac{AB}{A'B'} \quad \text{y} \quad E'' = E \frac{AB}{A''B''},$$

y, por tanto,

$$E' = E \cos \alpha \quad \text{y} \quad E'' = E \cos \beta, \text{ o sea,}$$

$$E' = \frac{I}{d^2} \cos \alpha \quad \text{y} \quad E'' = \frac{I}{d^2} \cos \beta.$$

Medida de la intensidad luminosa.— Para efectuar estas medidas se procede mediante comparación, empleando aparatos que permiten establecerla entre lámparas tipo de características conocidas y la que se quiere ensayar.

Estos aparatos van convenientemente montados sobre un *banco fotométrico*, para facilitar las manipulaciones. Entre los muchos modelos de fotómetros que existen, describiremos los dos siguientes:

Fotómetro de Bunsen.— Llamado también *de mancha de*

aceite, es el más antiguo; puede verse esquemáticamente repre-

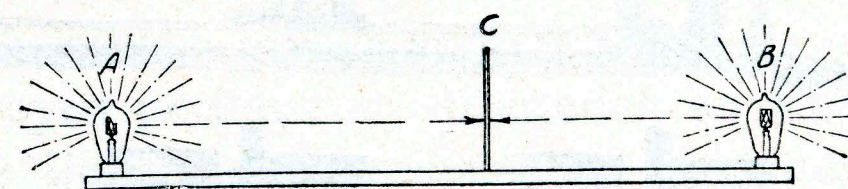


Fig. 10.

sentado en la figura 10 y su fundamento es el siguiente:

Entre las dos lámparas que se trata de comparar, se interpone una pantalla de papel con una mancha de aceite en su centro. Cuando la iluminación en uno de los lados es mayor que en el otro, la mancha aparece más oscura del lado en que la iluminación es mayor y viceversa; acercando o separando las lámparas a la pantalla se llegará a una posición en que la iluminación sea igual por ambas caras y la mancha desaparecerá. Midiendo sobre una escala convenientemente dispuesta las distancias desde cada una de las lámparas a la pantalla y aplicando la ley de la inversa del cuadrado de las distancias, se deduce la intensidad que corresponde a la lámpara ensayada.

Por ejemplo: supongamos que la lámpara A en ensayo nos da la misma intensidad que la lámpara testigo B , colocadas la primera a 80 centímetros y la segunda a 60 de la pantalla; la relación de distancia es de $\frac{4}{3}$, y aplicando la ley de la inversa del cuadrado $\frac{16}{9} = 1.777$, factor por el que habrá que multiplicar la intensidad conocida B para obtener la de la lámpara ensayada A .

En los aparatos modernos y al objeto de que las dos caras de la pantalla pueden verse simultáneamente, se han colocado unos espejos formando un

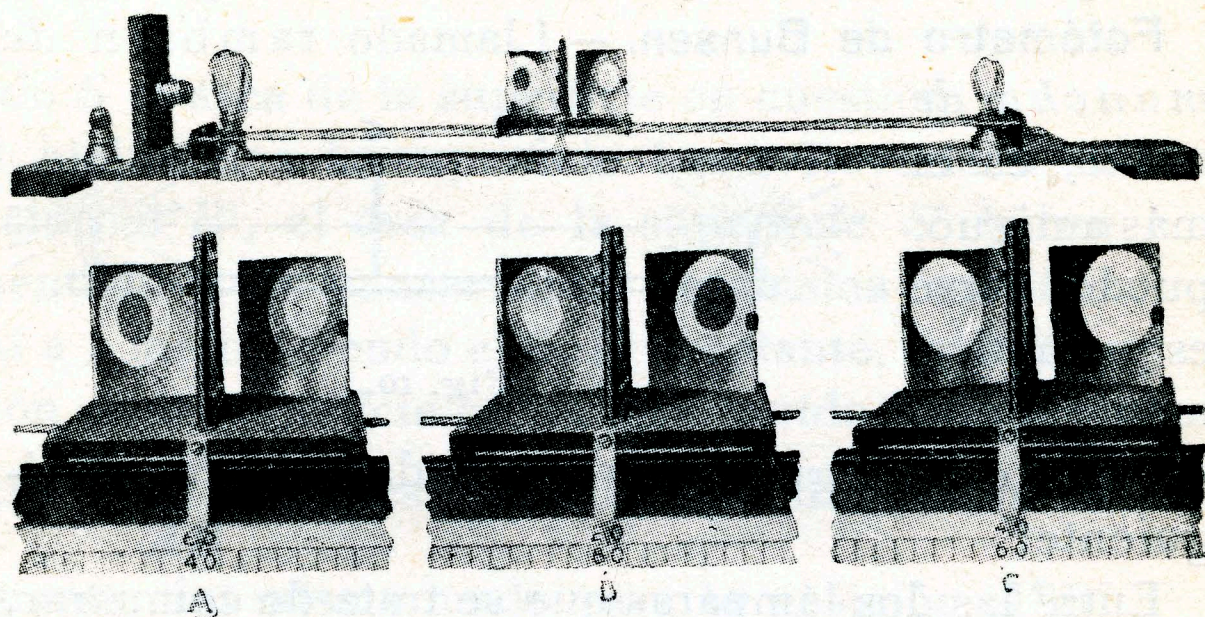


Fig. II.

ángulo conveniente, según puede verse en la figura II.

En dicha figura tenemos en *A* la pantalla a la izquierda del punto de equilibrio de intensidades; en *B*, a la derecha de dicho punto, y en *C* vemos la posición exacta de equilibrio.

Fotómetro de Lummer y Brodhun. — Consiste esencialmente en dos prismas *E* y *F* (fig. 12), uno, *F*, de base plana, y otro, *E*, cuya base tiene una parte central plana, que se adhiere perfectamente a la base del anterior y dos partes laterales curvas que determinan dos espacios libres entre ambos prismas.

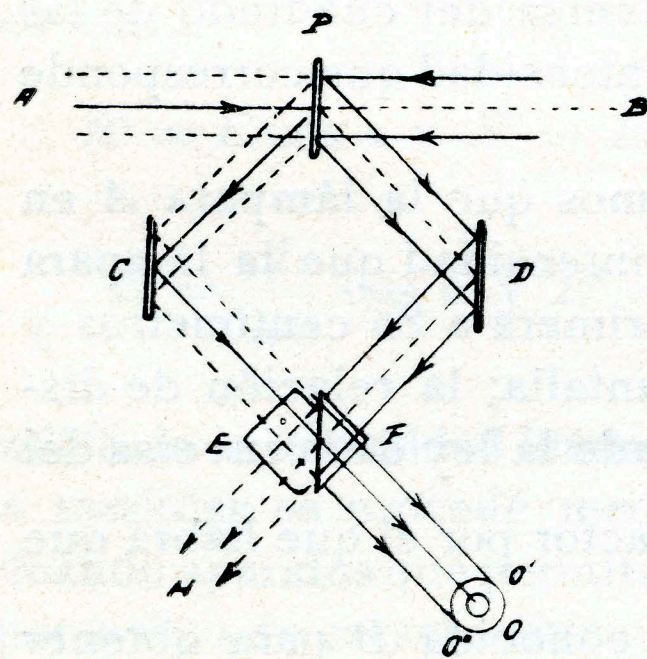


Fig. 12.

Supongamos en *A* y

B las lámparas que se trata de comparar y entre ambas una pantalla difusora *P*, y en *C* y *D* dos espejos convenientemente orientados. El haz *central* de rayos *APLO*, dibujado esquemáticamente en línea llena, pasará a través de la zona de contacto de ambos prismas y determinará en *O* una mancha luminosa que se aprecia mediante un ocular. Los rayos periféricos, dibujados en línea de trazos que llegan a los prismas en sus zonas de separación, sufren reflexión total, no llegando al ocular. Análogamente, pero a la inversa, el haz central *BPDH* pasa a través de los prismas, mientras los periféricos *BPDO'O''* sufren reflexión total y determinan una mancha anular *O'O''* que envuelve la anterior. Acercando y separando las lámparas en ensayo a la pantalla *P* hasta que la intensidad luminosa en ambas manchas *O* y *O'O''* sea la misma, se obtendrá, procediendo como anteriormente se ha explicado, la intensidad de la lámpara que se ensaya.

Curvas fotométricas. — Como hemos dicho anteriormente, la intensidad luminosa es una magnitud valorable únicamente en una dirección determinada y que no da ninguna idea de cantidad de luz ni de tiempo de emisión.

Siempre es interesante, sin embargo, cuando se trata de estudiar un punto o superficie luminosa, ver cómo distribuye la luz según distintas direcciones, ya que esta distribución no se hace en la práctica de modo uniforme.

Este estudio se efectúa trazando las curvas *fotométricas*, llamadas también curvas de *repartición de las intensidades luminosas*. Para esto se efectúa la medida de la intensidad luminosa del punto a estudiar en diferentes direcciones situadas en un plano vertical que contenga dicho punto. Estas medi-

das se hacen de 10 en 10 grados o con mayor espaciamento, según la exactitud con que se quiera obtener el resultado.

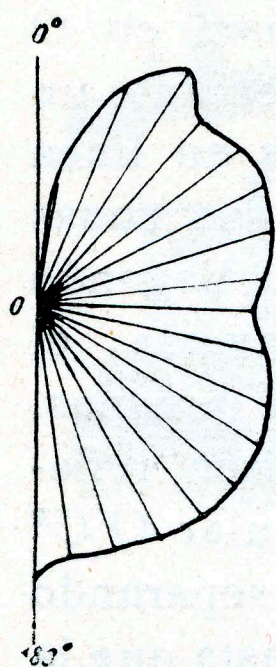


Fig. 13.

Si a partir de un punto O (fig. 13) trazamos vectores, cuya longitud sea proporcional a las intensidades medidas y cuyas direcciones coincidan con aquellas bajo las cuales se haya efectuado las medidas de intensidad, uniendo los extremos de estos vectores obtendremos una curva que representará la forma de distribución de la intensidad.

Como veremos más adelante en distintos capítulos, estas curvas tienen un extraordinario interés en luminotecnia, por lo que insistiremos sobre ellas repetidas veces.

Como sería poco práctico hacer el trazado de estas curvas variando cada vez la posición del punto luminoso, ya que muchas veces se ensayan aparatos pesados, como los empleados en el alumbrado público, por ejemplo, existen aparatos en los que mediante una combinación de espejos móviles se pueden hacer medidas de intensidad en todas direcciones, sin variar la posición del aparato ensayado y variando, en cambio, la posición de los espejos.

Medida del flujo. — Sabemos que la iluminación de una superficie viene definida por la ecuación

$$E = \frac{F}{S},$$

siendo F el flujo y S el área de la superficie, de donde

$$F = E \times S.$$

Si suponemos una lámpara colocada en el centro

de una esfera de *radio unidad*, la iluminación de un punto de esta esfera será igual a la intensidad luminosa medida en la dirección del punto dividida por el cuadrado de la distancia, en este caso igual a 1, luego $E = I$.

Suponiendo la lámpara simétrica con relación a un plano vertical que pase por su eje, la curva de repartición de intensidades luminosas será la misma para todos los planos verticales que pasen por el eje, y, por consiguiente, la intensidad luminosa será la misma a lo largo de un cono cuyo eje coincida con el de la lámpara.

Consideremos dos conos AOA' y BOB' (fig. 14) del mismo vértice, y suponiendo los puntos A y B muy próximos se puede admitir que el valor de la intensidad luminosa emitida entre los dos conos es el mismo para todas las direcciones que pasen por el centro y comprendidas entre los dos conos. El flujo luminoso tendrá, por tanto, por valor

$$E \times S = I \times S,$$

siendo S el área de la zona esférica $ABA'B'$.

Se ve, por tanto, que midiendo la intensidad luminosa I según la dirección media entre los conos AOA' y BOB' y midiendo el área de la zona $ABA'B'$, se puede obtener el valor del flujo comprendido entre ambos conos, y aumentando el número de conos hasta cubrir el volumen total de la esfera y sumando los resultados parciales obtenidos, se tendrá el valor total del flujo emitido por la lámpara en cuestión.

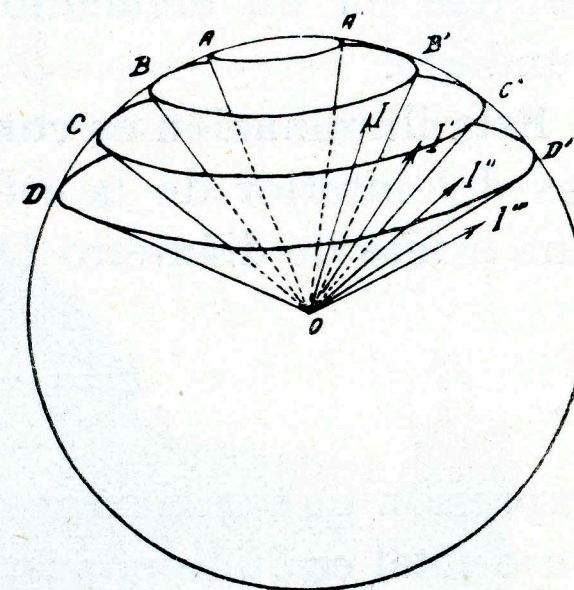


Fig. 14.

Este sistema conduce a efectuar gran número de mediciones fotométricas, por lo que resulta lento y penoso, habiéndose recurrido a métodos más expeditivos, entre los que citaremos el siguiente:

Lumenómetro o esfera de Ulbricht. — Si colocamos una lámpara en el interior de una esfera hueca, pintada interiormente de blanco mate, al objeto de hacerla perfectamente difusora, la iluminación que recibe la superficie interior de dicha esfera es la suma de dos componentes: la iluminación directa que recibe de los rayos luminosos de la lámpara que inciden sobre la superficie y que evidentemente varía de un punto a otro del interior de la esfera, y la iluminación indirecta que procede de la luz reflejada por los elementos de que se compone la superficie, cada uno de los cuales viene a convertirse en un elemento superficial luminoso secundario.

Esta iluminación es constante por todos los puntos del interior de la esfera, siendo su valor para una esfera de diámetro D

$$E = \frac{I}{D^2} \Sigma I,$$

expresión que se demuestra que es proporcional al flujo total emitido por la lámpara.

Ahora bien: la reflexión en el interior de la esfera será *múltiple*, ya que convertido cada elemento superficial iluminado con luz difusa en productor de luz, enviará parte de la luz reflejada a los demás elementos, los que a su vez devuelven por reflexión otra parte de luz, y así sucesivamente. Tendremos, pues, una serie de iluminaciones $E_1, E_2, E_3...$ en un mismo elemento, las cuales serán proporcionales a $\rho_1 F, \rho_2 F, \rho_3 F...$, siendo ρ el coeficiente de reflexión y F el flujo.

Por tanto, esta iluminación indirecta del interior de la esfera dependerá de un coeficiente constante para cada esfera variable con la naturaleza de la misma y que hay que determinar experimentalmente en cada caso.

Para que la proporcionalidad de que hemos hablado entre el flujo de la lámpara y la iluminación indirecta de la superficie interior de la esfera se verifique rigurosamente, precisa que no haya ningún cuerpo opaco en el interior, o que el tamaño de la esfera sea el suficiente para que las perturbaciones que puedan producirse sean despreciables.

En los principios que acabamos de enumerar se funda el *lumenómetro* de Ulbricht, que consiste (fig. 15) en una esfera hueca en el interior de la

cual se coloca la lámpara a ensayar. En un punto de la superficie hay una abertura circular D , de diámetro conveniente, cerrado con vidrio opal, y entre éste y la lámpara se intercala una pantalla E , de modo que la abertura recibe sólo luz indirecta reflejada. El resto del

aparato es un fotómetro de Bunsen o de cualquier otro tipo con su lámpara tipo A y su pantalla C ,

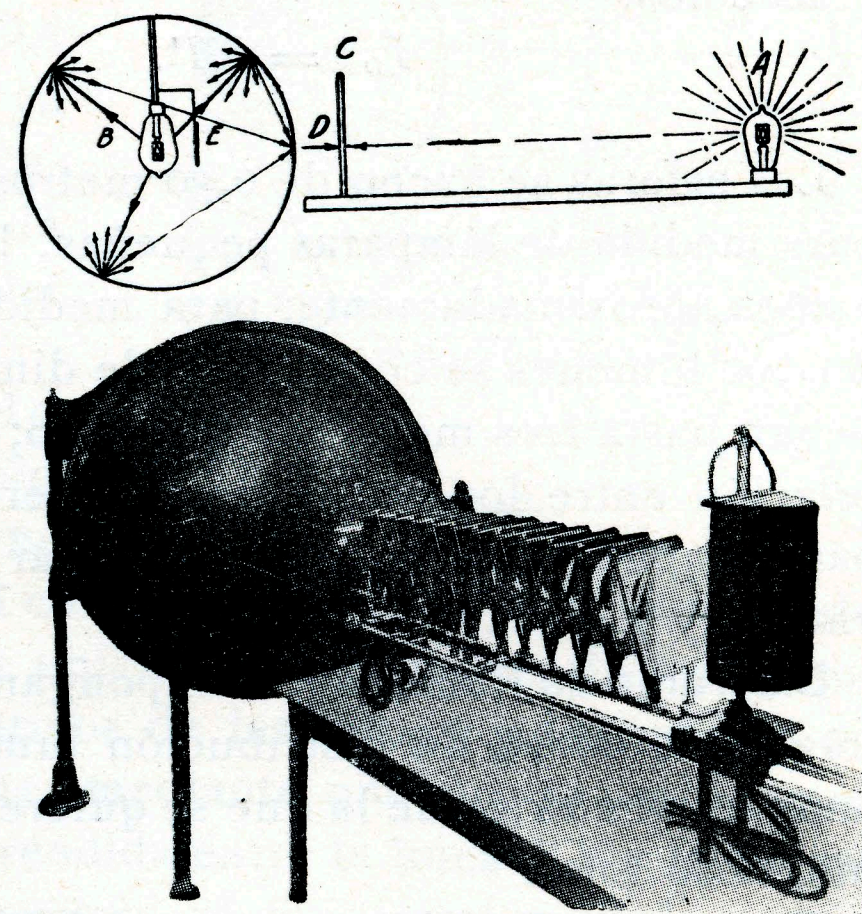


Fig. 15.

mediante el cual se puede determinar la intensidad de iluminación de la abertura o ventana de la esfera.

El coeficiente de proporcionalidad, o sea, la constante de la esfera, se determina midiendo la intensidad I de la ventana cuando en el interior de la esfera se coloca una lámpara de intensidad media esférica conocida I_o . La constante del aparato K será:

$$K = \frac{I_o}{I}.$$

Si I' es la intensidad de la ventana, cuando en el interior de la esfera tenemos una lámpara cuya intensidad media esférica I_o' queremos determinar, tendremos:

$$I_o' = KI'.$$

Las esferas se hacen de 0,50 metros de diámetro para medida de lámparas pequeñas, hasta 1.200 lúmenes aproximadamente; para medidas superiores a 1.200 lúmenes se construyen de dimensiones que llegan hasta tres metros de diámetro; en general, la relación entre los radios de la esfera y de la lámpara, supuesta esférica, debe estar comprendida entre 6 y 7.

Diagrama de Rousseau. — Supongamos que se ha trazado la curva de distribución luminosa de una lámpara simétrica de la que se quiere medir el flujo luminoso total.

Tracemos (fig. 16) una semicircunferencia de radio unidad que envuelva la curva en cuestión y dividámosla de 10 en 10 grados. Si proyectamos los puntos de división sobre la línea XY , dos puntos cualquiera A y B se proyectarán en $A'B'$, siendo esta dimensión $A'B'$ la altura h de la zona

esférica correspondiente y, por tanto, proporcional al área de dicha zona. Siendo el radio del círculo trazado igual a la unidad, el área de la zona será $2rh$.

Si en el punto medio de $A'B'$ levantamos una perpendicular de longitud igual a I , intensidad luminosa media de la zona considerada, el área del rectángulo de base $A'B'$ y altura I es proporcional al producto de la intensidad luminosa media por el área, o sea, proporcional al *flujo* luminoso comprendido entre los dos conos de generatrices OA y OB , como ya hemos explicado al tratar de la medida del flujo.

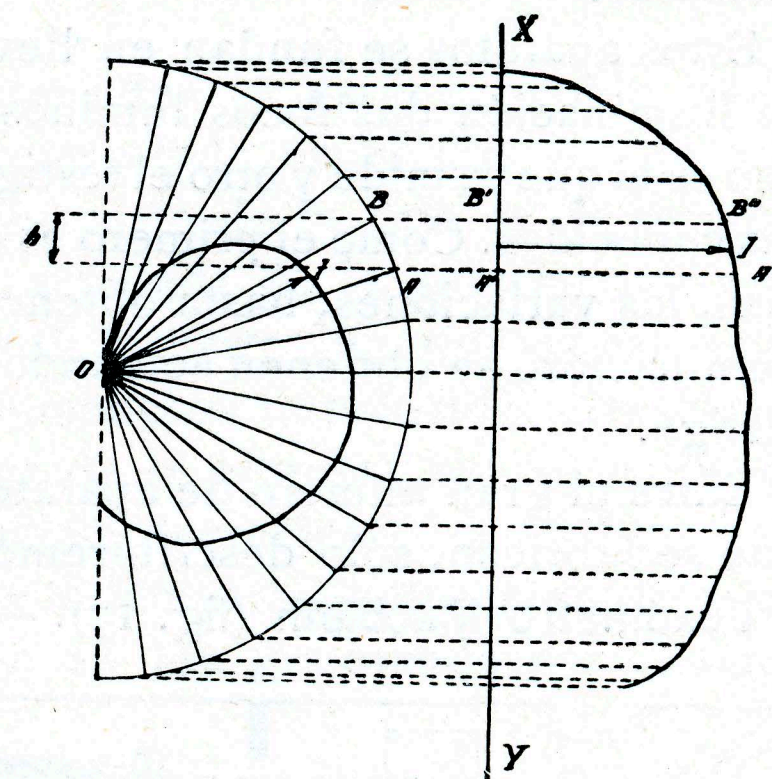


Fig. 16.

Repitiendo esta operación para los distintos puntos, tal como lo muestra la parte derecha de la figura 16, y uniendo los extremos de los vectores representativos de las intensidades medias de todas las zonas, mediante una curva, limitaremos un área comprendida entre la línea XY y la curva, la cual representará el flujo total emitido por la lámpara ensayada.

Si las unidades de longitud han sido escogidas convenientemente, bastará multiplicar por 2π el valor del área obtenida, para tener el flujo total que se trata de determinar.

Medida de la iluminación. — La medida de la ilu-

minación se hace por medio de los *luxómetros*, aparatos que no son de una precisión tan grande como los descritos hasta ahora, pues se ha sacrificado la exactitud a la facilidad de manejo y transporte, pero que desde luego dan la exactitud suficiente para el fin a que se destinan, o sea, determinar sobre un plano de utilización cualquiera, la iluminación efectiva, sirviendo para comprobar el rendimiento práctico del alumbrado que se haya instalado.

Estos aparatos se fundan en llevar a la igualdad de iluminación dos focos luminosos, de los cuales uno es el que se mide y otro el testigo de características conocidas. Como el primero es de características fijas, las variaciones, hasta obtener la igualdad de iluminación, se obtienen actuando sobre la lámpara testigo.

Entre el gran número de aparatos de este género que se fabrican, sólo describiremos los siguientes:

Luxómetro Macbleth (fig. 17). — Las variaciones

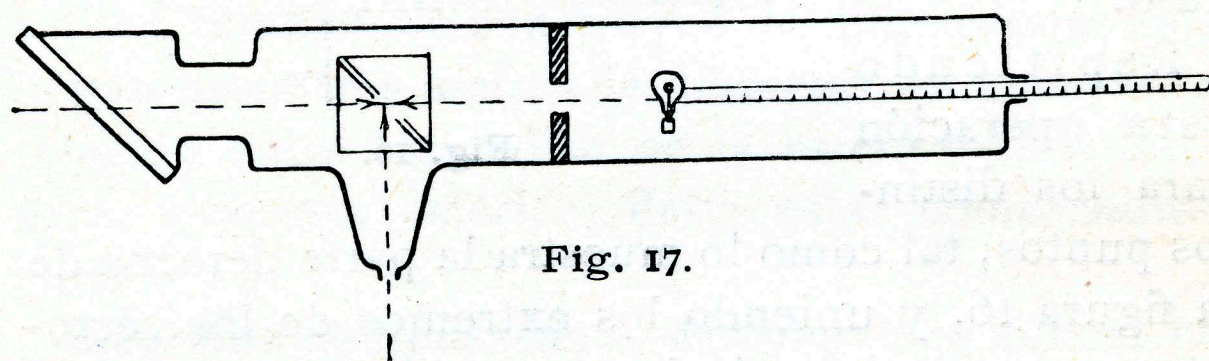


Fig. 17.

de iluminación se obtienen por distancia, como en un banco fotométrico, pero disponiendo el aparato en forma que pueda ser portátil. El aparato difusor de los dos focos luminosos es un sistema de prismas Lummer-Brodhun, ya descrito, y la lámpara testigo va montada de forma que puede acercarse o separarse de los prismas, de los que la separa un diafragma. La varilla en que va montada la lámpara lleva las graduaciones necesarias para que puedan

efectuarse las medidas en forma análoga a la descrita al tratar de los fotómetros.

Luxómetro Mazda (fig. 18). — Consta esencialmente de una caja, una de cuyas partes, de sección rectangular, lleva una lámpara previamente tarada por comparación; la lámpara está alimentada por una

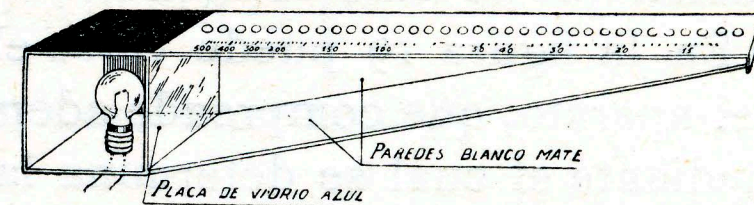


Fig. 18.

pila seca y su intensidad se varía actuando sobre una resistencia intercalada en el circuito de alimentación. La otra parte de la caja es de sección triangular y está separada de la anterior por una placa de vidrio azul; la parte superior de esta caja lleva una serie de manchas translúcidas circulares, que reciben la luz de la lámpara por su parte inferior con intensidad decreciente, a medida que están más lejos de la lámpara, lo que permite establecer una escala en lux graduando por comparación.

Para hacer funcionar el aparato, no hay más que encender la lámpara, llevando su intensidad al punto conveniente maniobrando sobre la resistencia y ver cuál de las

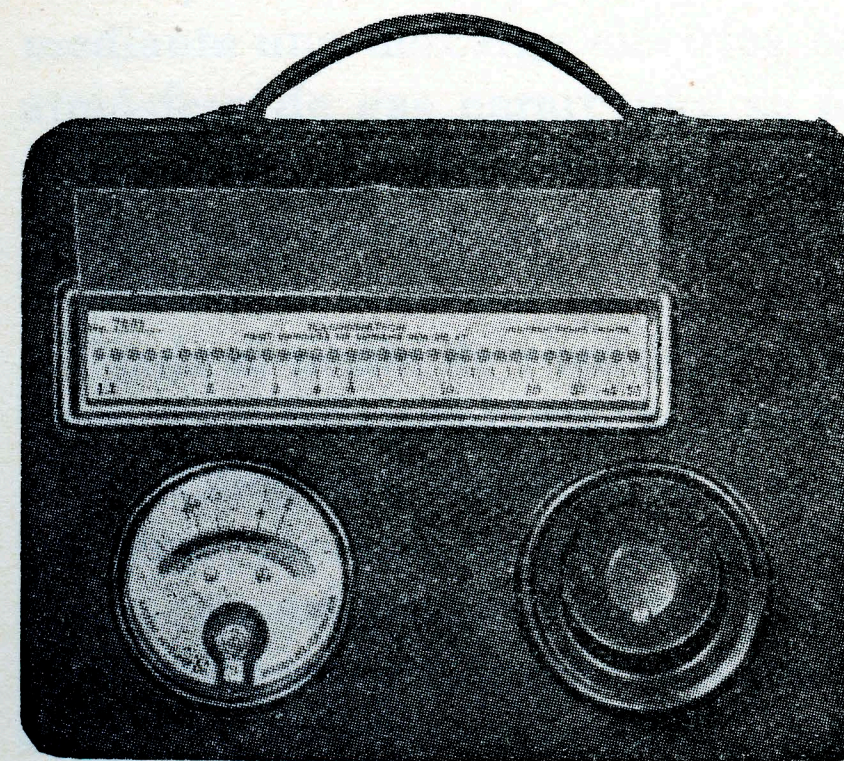


Fig. 19.

manchas translúcidas está iluminada igualmente por ambas caras, lo que se nota en que desaparece casi por completo, leyendo directamente en la escala el número de lux correspondiente a la iluminación que se trata de medir.

En la figura 19 puede verse el aspecto exterior del aparato, que comprende además un voltímetro, mediante el cual se determina la intensidad a que debe funcionar la lámpara, haciendo que su aguja coincida con varias flechas, una de las cuales proporciona las lecturas directas y las otras con un coeficiente de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$, etc., según el orden de la iluminación que se trate de medir.

CAPÍTULO IV

LÁMPARAS ELÉCTRICAS

Clasificación de las lámparas.— Las lámparas eléctricas pueden definirse como aparatos que transforman la energía eléctrica, recibida en forma de corriente, en energía radiante, una parte de la cual es perceptible en forma de luz.

Desde el punto de vista de la energía emitida, las lámparas eléctricas pueden clasificarse en:

Lámparas de luz caliente: En ellas un trozo de conductor llevado a alta temperatura mediante la corriente eléctrica emite radiaciones, una pequeña parte de las cuales están comprendidas en la zona visible del espectro.

Lámparas de luz fría: En ellas se consigue que mediante una descarga eléctrica efectuada en una atmósfera de gas enrarecido, se produzca luz por *luminiscencia*, sin ocasionarse el aumento de temperatura característico de las lámparas anteriormente citadas.

Desde el punto de vista de su funcionamiento general, se puede establecer la siguiente clasificación:

A) Lámparas de arco.— Haciendo pasar una corriente eléctrica a través de dos electrodos, si separamos éstos hasta un cierto límite, la corriente continúa pasando, produciéndose lo que se llama un «arco» eléctrico y se produce luz, parte procedente de los electrodos, cuya temperatura se ha elevado considerablemente, y parte de la incandes-

cencia y luminiscencia de los vapores del arco. Las lámparas de arco pueden ser:

Arco de carbones: ambos electrodos son de carbón; el arco obtenido es poco luminoso.

Arco de llama: los electrodos son de carbón impregnado en sales metálicas; el arco es muy luminoso.

Arco metálico: los electrodos son metálicos y de ellos el cátodo es luminoso; el arco es muy luminoso.

Arco de mercurio: el cátodo es de mercurio; la luz procede de la luminosidad del vapor de mercurio:

B) Lámparas de incandescencia. — Un filamento encerrado en una ampolla de vidrio se lleva al estado incandescente mediante una corriente eléctrica. Las lámparas de esta clase se dividen en:

Lámparas de filamento de carbón en vacío.

Lámparas de filamento de tungsteno en vacío.

Lámparas de filamento de tungsteno en atmósfera gaseosa.

C) Lámparas de gas enrarecido o de descarga. — La luz se obtiene, como ya hemos dicho, mediante descarga de una corriente eléctrica en una columna de gas enrarecido.

Clase de luz emitida. — Considerando la *clase de luz* emitida, se puede hacer la clasificación siguiente:

Arco de carbones: abundante en radiaciones rojas, violeta y ultravioleta que lo hacen peligroso para los ojos. No debe emplearse desnudo.

Arco de llama: varía según la naturaleza de las sales en que se impregnan los electrodos.

Arco metálico: espectro muy parecido al solar.

Arco de mercurio: abundante en radiaciones verdes, azules, violetas, ultravioletas; éstas no perjudican a causa del cristal que envuelve el arco y que las absorbe.

La luz de los arcos tiene poca fijeza, es oscilante y de gran brillo.

Lámpara de filamento de carbón: Puede considerarse en desuso. Su luz es muy abundante en radiaciones rojas; fija y de poco brillo.

Lámpara de filamento de tungsteno: Luz abundante en radiaciones rojas, pero de menor proporción que las anteriores. La luz es fija a voltaje constante y de gran brillo, sobre todo en las de atmósfera gaseosa.

Lámparas de gas enrarecido o de descarga: La calidad de su luz depende de la naturaleza del gas en que la descarga se efectúa.

Clase de alimentación. — Por último, con relación a la clase de alimentación y a su rendimiento podemos establecer:

Lámparas que sólo funcionan con corriente continua: arco de mercurio y arco metálico.

Lámparas que funcionan mejor con corriente continua: arco de carbones.

Lámparas que funcionan indiferentemente con alterna o continua: arco de llama y lámparas de incandescencia y de descarga.

En el cuadro número VII se establece la comparación de rendimientos:

CUADRO VII

RENDIMIENTO EN LAS DISTINTAS CLASES DE LÁMPARAS

TIPO DE LÁMPARA	Lúmenes por watio		Rendimiento %	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Arco de carbón.....	10	15	5,9	8,8
Arco de llama.....	30	50	17,7	29,5
Arco metálico.....	16	32	9,4	18,8
Arco de mercurio.....	20	30	11,75	17,7
Lámpara de incandescencia, carbón.....	2,5	3,5	0,15	0,20
Lámpara de incandescencia, tungsteno en vacío.....	8	12	4,7	7
Lámpara de incandescencia, tungsteno en gas....	15	25	8,8	14,6
Lámpara de descarga.....	3	6	1,75	3,5
Lámpara de neon.....	»	20	»	11,75

Empleo de las diferentes clases de lámparas.—Las lámparas de luz coloreada como las de neon, mercurio, etc., no son propias más que para usos especiales, limitados en la actualidad casi por completo a los anuncios y muestras comerciales.

También se emplean como luz decorativa en exteriores, acusando mediante tubos continuos algunas líneas arquitectónicas en los edificios de estilo moderno.

Esta clase de luz es poco recomendable para decoración de interiores, a excepción de la lámpara de gas carbónico, que produce luz blanca difusa; sin embargo, empleando los tubos de vapor de mercurio y de neon en proporción de dos tercios de los primeros y uno de los segundos, se obtiene una luz blanca bastante agradable.

La lámpara de mercurio es de gran eficacia para fotografía por su abundancia en radiaciones azules.

Las lámparas de arco, por su alto rendimiento, fueron durante mucho tiempo elemento indispensable para alumbrado público exterior y de grandes espacios cerrados, como estaciones de ferrocarril, etc.

No obstante, el perfeccionamiento de su sistema regulador, la oscilación característica de su luz las hace impropias para muchos usos, uniéndose a este inconveniente su aspecto pesado, poco estético, la producción de humos, la necesidad de variar los electrodos frecuentemente, etc., etc.

En la actualidad se emplea, en América principalmente, el arco de *magnetita*, uno de cuyos electrodos es de cobre y el otro un tubo delgado de acero con magnetita comprimida en su interior. La eficacia de esta lámpara es grande, ofreciendo la ventaja de que los electrodos no se desgastan rápidamente. Su luz es blanca.

El progreso alcanzado en la fabricación de lámparas de incandescencia con filamento de tungsteno en atmósfera gaseosa, ha hecho que se recurra a estas lámparas para resolver todos los problemas de alumbrado, quedando reducido el uso de las lámparas anteriormente descritas a casos particulares, por lo que no insistiremos sobre ellas, dando solamente algunos datos referentes a las lámparas de gas enrarecido, por lo muy empleadas que son actualmente en reclamos y muestras comerciales, para ocuparnos con alguna mayor extensión de las lámparas de incandescencia.

Lámparas de gas enrarecido o de descarga.—*Lámpara de anhídrido carbónico:* Luz blanca, difusa; espectro casi igual al solar; brillo 0,10 bujías por centímetro cuadrado (el brillo de una buena armadura difusora). Caída de tensión en tubo de 45 milímetros de diámetro es de 2 a 5 voltios por centímetro. Rendimiento muy bajo; no obstante estar casi excluidas las radiaciones caloríficas no se llega a más de 4 lúmenes por watio; el máximo rendimiento corresponde a una presión en el gas de 0,1 de milímetro de mercurio

Lámpara de nitrógeno: Luz amarillo naranja. Caída de tensión de 2 a 3 voltios por centímetro. Rendimiento como la anterior.

Lámpara de neon: Luz roja característica. Esta coloración puede variarse mediante algunas mezclas: introduciendo en el tubo de neon algunas gotas de mercurio, se obtiene, por su volatilización, el tono azul, empleado en los anuncios luminosos; añadiendo elio, la luz es rosada, y añadiendo vapor de uranio, se obtiene luz verde. Igualmente se obtienen los cambios de color empleando tubos de cristal de colores diversos.

La intensidad luminosa de un tubo de neon puede

llegar a 240 bujías por metro, pero ordinariamente no se pasa de 160 bujías esféricas por metro (lo que corresponde a cerca de 2.000 lúmenes) para asegurar 1.000 horas de duración media al tubo.

La alimentación se hace a alta tensión mediante transformador elevador, y la caída de tensión es de unos 130 voltios por metro.

La potencia absorbida por un tubo de seis metros de longitud, es aproximadamente de 1.000 watios, o sea, unos 160 por metro, lo que con la producción de 2.000 lúmenes, antes indicada, supone un rendimiento de unos 13 lúmenes por watio. En tubos de mayor longitud aumenta el rendimiento. La temperatura en el tubo neon no es superior a 40 grados.

Lámparas de incandescencia.— Desde la primera lámpara construída por Edison en 1879 (lámpara de filamento de carbón con consumo de cuatro watios por bujía y rendimienta de 2,5 lúmenes por watio) la construcción de lámparas de incandescencia ha evolucionado del siguiente modo:

1.º *Lámparas de filamento de carbón.*— El filamento está contituído por una fibra vegetal, bambú, algodón, nitrocelulosa, etc., carbonizada y comprimida. Rendimiento, 4 lúmenes por watio.

2.º *Lámparas Nernst.*— El filamento es de óxidos de metales raros, como torio, circonio, etcétera. Había que calentar previamente el filamento para hacerlo conductor. Rendimiento, 6 lúmenes por watio.

3.º *Lámparas de filamento de osmio.*— Por dificultades en la fabricación de su filamento y la fragilidad del mismo, no tuvo éxito en la práctica. Rendimiento, 6 lúmenes por watio.

4.º *Lámparas de filamento de carbón metalizado.*— El filamento de carbón se sometió a un recocado en el horno eléctrico a alta temperatura, lo que

le daba ciertas cualidades propias de los metales. Rendimiento, como los anteriores.

5.º *Lámpara de filamento de tántalo.*—Primera lámpara de filamento metálico que compitió con éxito con las del carbón. Rendimiento, 6,5 lúmenes por watio.

6.º *Lámpara de filamento de tungsteno en vacío.*— Lámpara de aplicación corriente en la actualidad. El filamento es de tungsteno trefilado. Rendimiento, de 10 a 12 lúmenes por watio.

7.º *Lámpara de filamento de tungsteno en atmósfera gaseosa.*— En la ampolla de vidrio de la lámpara se introduce en un gas inerte como *nitrógeno*, *argon*, etc., lo que, como después veremos, disminuye el consumo específico y permite llegar a obtener grandes unidades, capaces incluso de sustituir al arco eléctrico. Rendimiento, de 18 a 20 lúmenes por watio; en lámparas de gran potencia se llega hasta 30 lúmenes por watio.

Las lámparas anteriormente citadas, a excepción de las de tungsteno, pueden considerarse en desuso, por lo que sólo nos referimos a estas últimas.

Lámparas de tungsteno en vacío y en atmósfera gaseosa.— Los factores que tienen influencia en el trabajo intermitente del filamento de una lámpara de incandescencia son:

Relación entre la resistencia y la temperatura.

Capacidad calorífica.

Dificultad de vaporización.

Poder total de emisión.

Temperatura máxima que puede obtenerse.

Eficacia de las radiaciones para la visión.

Entre todos los metales es el *tungsteno* el que hasta ahora mejor se presta para la fabricación del filamento.

El tungsteno es un metal muy duro y muy pesado, cuya temperatura de fusión es superior a 3.000 grados centígrados. Este metal se trefila con gran dificultad, precisando un complicado tratamiento mecánico y térmico hasta poder obtener el hilo finísimo que forma el filamento de la lámparas.

La resistividad del hilo de tungsteno es de cinco micro-ohmios, aproximadamente tres veces la del cobre.

Por sus características especiales el tungsteno es capaz de soportar largos períodos de tiempo a temperaturas próximas a su punto de fusión.

Estimamos de interés la inserción del cuadro número VIII, que especifica las propiedades del tungsteno, y que quede servir para en determinados casos juzgar las características de fabricación de las lámparas o para determinar el tipo especial de lámpara que pueda resolver algún caso particular.

CUADRO VIII
PROPIEDADES DEL TUNGSTENO

Temperatura — Grados K (1)	Resistencia específica — Ohmios $\times 10^{-6}$ por cm^3	Energía radiada — Wattios por cm^2	Brillo — Bujías por cm^2
1.000	24,93	0,602	0,000126
2.000	56,67	24,04	20,66
2.100	60,06	30,5	37,75
2.200	63,48	38,2	64,0
2.300	66,91	47,2	103,7
2.400	70,39	57,7	164,4
2.500	73,91	69,8	248
2.600	77,49	83,8	364
2.700	81,04	99,6	532
2.800	84,70	117,6	732
2.900	88,33	137,8	987
3.000	92,04	160,5	1.326
3.100	95,76	185,8	1.745
3.200	99,54	214,0	2.252
3.300	103,3	245,4	2.893
3.400	107,2	280,0	3.660
3.500	111,1	318,0	4.540
3.600	115,0	360,0	5.530
3.655	117,1	382,6	6.163

En las lámparas llamadas de *atmósfera gaseosa*, la introducción de un gas, *nitrógeno*, *hidrógeno* o *argón*, según ya hemos dicho, produce las siguientes ventajas:

Aumento de la temperatura de funcionamiento, lo que supone un aumento en el rendimiento, por ser mayor la cantidad total de radiaciones ob-

(1) La escala Kelvin tiene la misma subdivisión que la escala centígrada; solamente el cero corresponde a -273 grados centígrados (cero absoluto).

tenidas y ser además la luz más blanca. La energía luminosa visible en estas lámparas viene a ser tres veces mayor que la de las lámparas en vacío.

Las partículas volatilizadas del filamento, son transportadas verticalmente por la corriente gaseosa hacia la parte superior o cuello de la lámpara, donde se depositan ennegreciéndola, quedando libre de este inconveniente la parte inferior de la ampolla.

Contra esta ventaja está el inconveniente, que tiende a disminuir el rendimiento, de las mayores

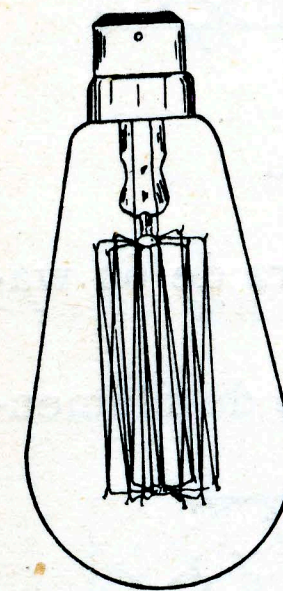


Fig. 20.

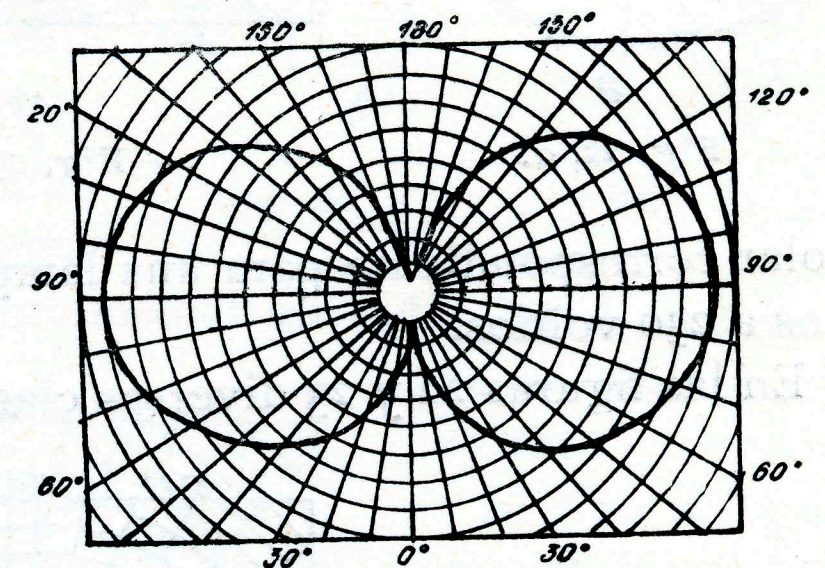


Fig. 21.

pérdidas por convección y conducción, por conductividad y por desplazamiento del gas. Estas pérdidas son tanto mayores cuanto mayor es la relación entre la superficie del conductor y su masa; por tanto, en una lámpara de filamento largo y fino, estas pérdidas pueden tomar un valor capaz de anular el aumento en el rendimiento debido a una mayor radiación. Este inconveniente se ha atenuado en gran parte mediante el empleo del filamento en espiral, de espiras muy cerradas, que disminuye la superficie expuesta a enfriamiento por acción de la corriente gaseosa.

En la figura 20 puede verse la lámpara de tungs-

teno en vacío, con filamento en zigzag, llamado también en *jaula de ardilla*, y en la 21, la curva

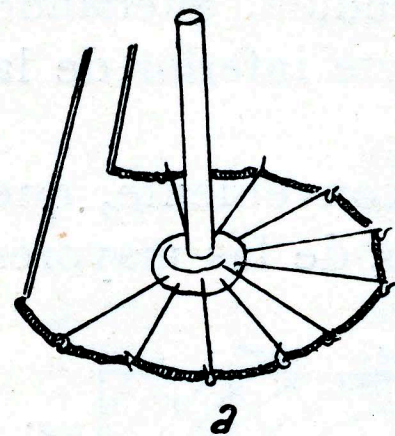


Fig. 22, a.

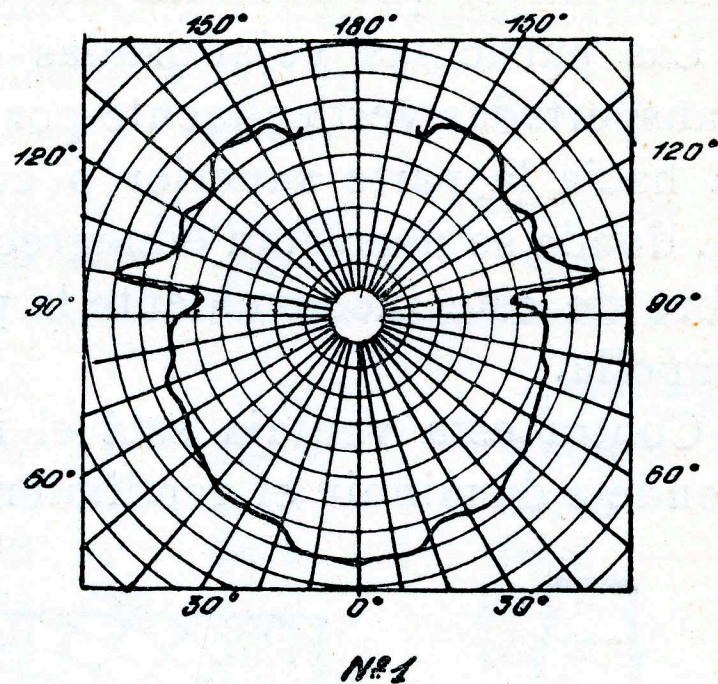


Fig. 23, 1.

polar correspondiente para una lámpara de 60 watios a 230 voltios.

En las figuras 22 y 23 diversas clases de filamen-

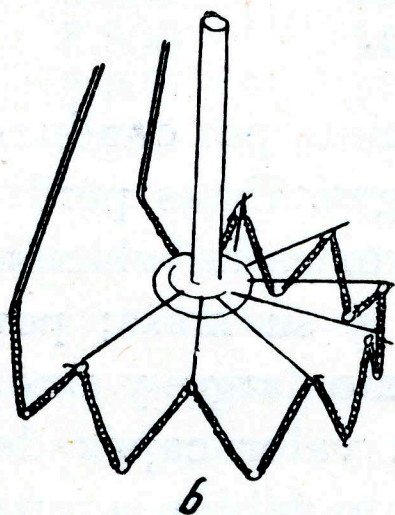


Fig. 22, b.

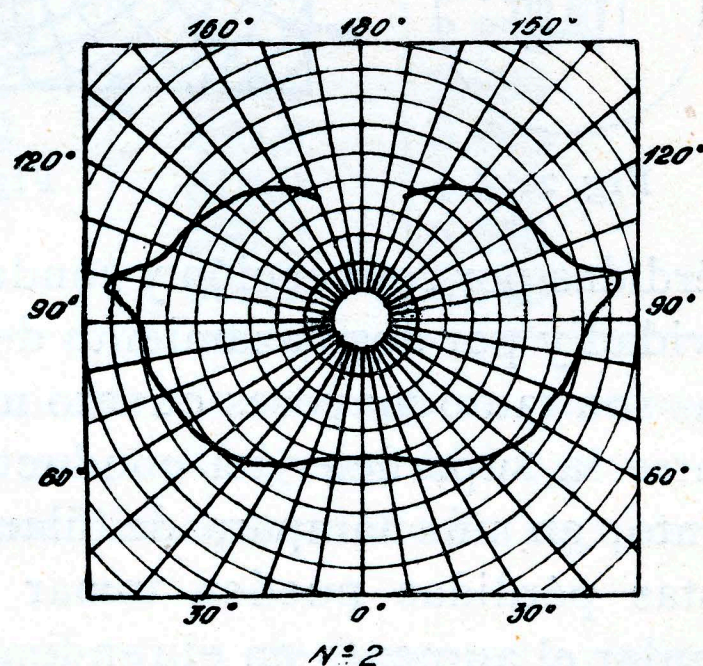


Fig. 23, 2.

tos para lámparas de atmósfera gaseosa y sus correspondientes curvas polares de distribución de intensidad luminosa.

El filamento tipo *a* (fig. 22), «en guirnalda», se

emplea para lámparas hasta de 300 watios. Su curva polar aparece en la figura 23, número 1.

El tipo *b* (fig. 22), corresponde al filamento en V, usado para lámparas de gran potencia, pues con él se obtienen altas intensidades en dirección horizontal. Su curva polar puede verse en la figura 23, número 2.

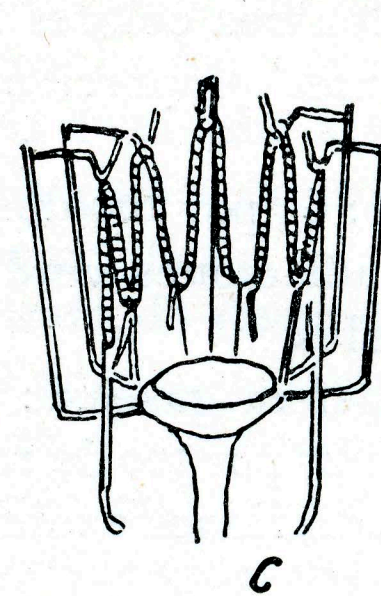


Fig. 22, c.

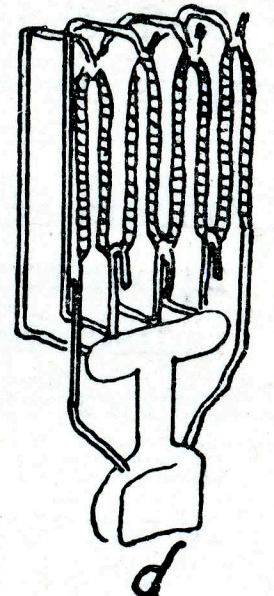


Fig. 22, d.

El tipo *c* (figura 22) se emplea cuando se desea obtener igual intensidad en todas las direcciones de un plano horizontal.

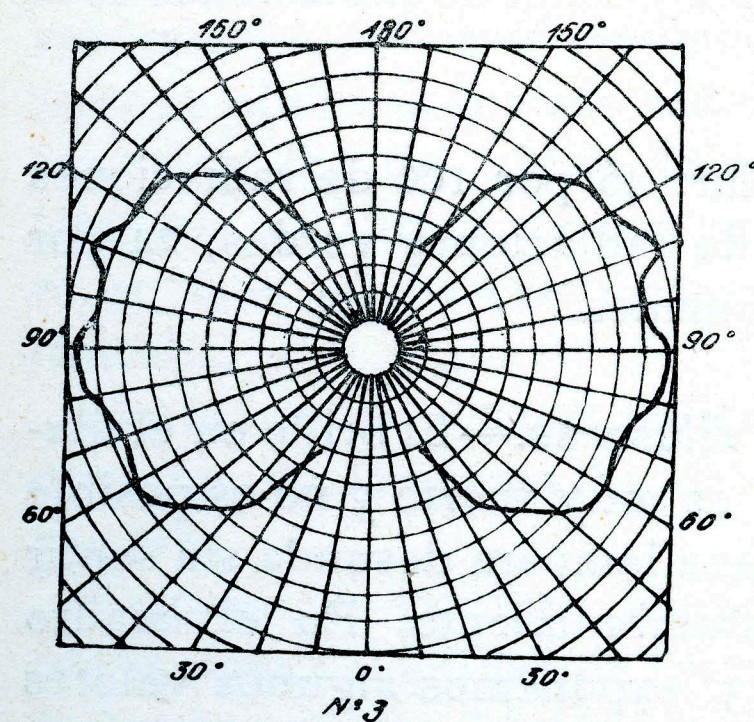


Fig. 23, 3.

El tipo *d* (figuras 22 y 23, 3), cuando se desea obtener la máxima intensidad en una dirección, como sucede en las lámparas para aparatos de proyección.

Calidad de la luz en la lámpara de tungsteno.

— La luz que proporciona la lámpara de tungsteno difiere bastante de la solar por su mayor abundancia en rayos rojos y naranja. Esta proporción es menor que en las lámparas de filamento de carbón, en las que la temperatura del filamento es

sólo de 1.800 grados centígrados, contra 2.250 grados centígrados para las lámparas de tungsteno en vacío y 2.700 grados centígrados en las de atmósfera gaseosa.

Refiriéndose a los tres colores fundamentales tenemos las siguientes proporciones en la emisión:

Lámpara en vacío: 63 por 100 de radiaciones rojas, 24 por 100 de radiaciones verdes, 13 por 100 de radiaciones azules.

Lámpara en atmósfera gaseosa: 55 por 100 de radiaciones rojas, 27 por 100 de radiaciones verdes, 18 por 100 de radiaciones azules.

En las llamadas lámparas de *luz solar*, el color azulado del vidrio de la ampolla atenúa las radiaciones rojas y amarillas, obteniéndose un espectro parecido al solar; la proporción de radiaciones es la siguiente:

Lámparas de luz solar: 46 por 100 de radiaciones rojas, 30 por 100 de radiaciones verdes, 24 por 100 de radiaciones azules.

Brillo. — Lámparas difusoras. — El brillo en el filamento de tungsteno es muy fuerte y no es posible mirar directamente una lámpara desnuda sin sentir los efectos del deslumbramiento. En el cuadro número V, página 33, exponemos algunos valores medios que orientan sobre este particular.

El brillo varía con la cantidad total de radiaciones que un cuerpo emite en relación con su superficie, y también con la intensidad de estas radiaciones, o sea proporcionalmente a la ordenada máxima de la curva de emisión.

Se ha visto que esta cantidad es proporcional a

la *cuarta potencia* de la temperatura del cuerpo; por tanto, el brillo es mucho mayor en las lámparas en atmósfera gaseosa que en las de vacío. En éstas el brillo varía alrededor de 150 bujías por centímetro cuadrado, en tanto que en las de atmósfera gaseosa varía de 500 a 1.300, según el tipo de filamento y la potencia de la lámpara; de aquí la necesidad del empleo de globos difusores que disminuyan la intensidad específica.

Al principio se trató de disminuir este inconveniente mediante el empleo de lámparas esmeriladas exteriormente, pero éstas presentan el inconveniente de ensuciarse rápidamente por adherencia del polvo a la superficie exterior, disminuyendo el rendimiento de la lámpara rápidamente.

En la actualidad se fabrican *lámparas esmeriladas en la superficie interior de la ampolla*, que eliminan el peligro de adherencia del polvo y son susceptibles de dar un rendimiento luminoso mejor, pues se eliminan los efectos de reflexión sobre la superficie lisa del vidrio de la parte inferior de la lámpara, en virtud de los cuales parte de la luz es enviada en dirección contraria al plano de utilización.

Por las razones antes indicadas, esperamos que este tipo de lámparas ha de irse aplicando cada vez más.

También se fabrican lámparas de vidrio opal, con la misma finalidad de disminuir los efectos del deslumbramiento, haciéndose con ampolla ordinaria, o bien en forma de cilindro alargado (tipo vela), lámparas estas últimas muy en boga actualmente.

En el cuadro número IX puede verse el brillo y la pérdida de luz de todos estos tipos de lámparas, comparados con la lámpara clara.

CUADRO IX

BRILLO Y PÉRDIDA DE LUZ EN DISTINTAS CLASES DE LÁMPARAS DIFUSORAS

TIPO DE LÁMPARA de 100 (vatios)	Brillo máximo — Bujías por cm ²	Pérdida de luz — (Resultados aproximados)
Clara.....	550	0
Deslustrada al interior	9	1,5
Opal, forma alargada ...	2	7
Opal corriente....	2	10

Efectos de reflexión producidos por la ampolla.—

Aunque la proporción de luz reflejada por una superficie de vidrio claro es pequeña cuando la incidencia es normal,

dicha proporción aumenta con el ángulo de incidencia, y como la superficie de la ampolla es curva, la concentración de una pequeña cantidad de flujo puede producir un aumento en la intensidad.

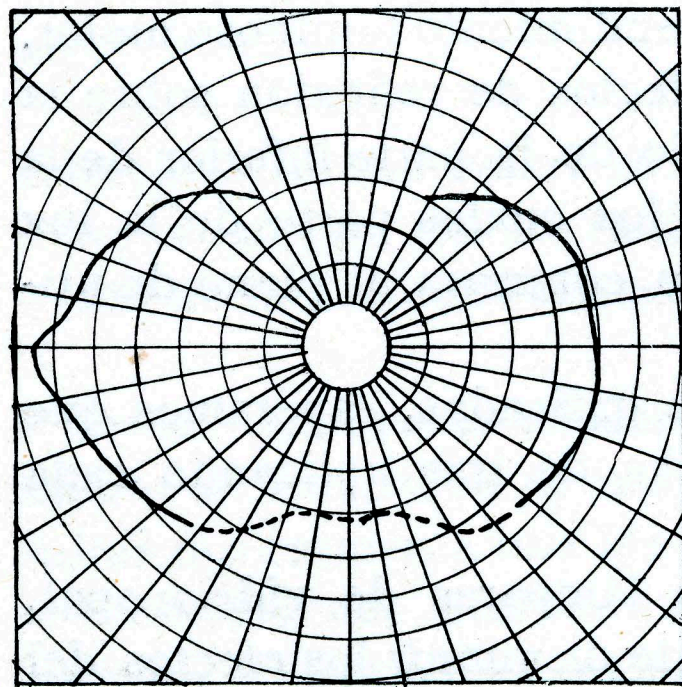


Fig. 24.

En la figura 24 puede verse la curva polar de una lámpara teniendo en cuenta los efectos de reflexión (izquierda) y sin apreciarlos (derecha). Como muestra la figura, hay una determinada dirección en que la intensidad aumenta en casi un 25 por 100.

Este efecto puede ser perjudicial en algunos casos (aparatos en los que las propiedades de reflexión o refracción deban aplicarse con precisión extraordinaria), por lo que se fabrican lámparas especiales con la parte inferior de la ampolla escalonada; pero en cambio en otros casos se favorece este efecto azogando la mitad de las lámparas (lámparas *medio azogadas*), con lo que se aumenta considerablemente la intensidad.

Temperatura de las lámparas. — La temperatura que toma la ampolla de una lámpara depende de su clase, de su potencia y de las condiciones en que se emplea. La temperatura excesiva producida por la proximidad de otras lámparas o por funcionar en malas condiciones de ventilación o de radiación (no hay que olvidar que los filamentos trabajan sobre 2.000 grados centígrados), causa efectos muy perjudiciales para la vida de la lámpara, muy dignos de tener en cuenta en el estudio de proyectos de aparatos y de instalaciones de luz indirecta.

En el cuadro número X puede verse la repartición de la energía radiada en una lámpara de 100 vatios en vacío y en atmósfera gaseosa. Se ve que en estas últimas la proporción de energía perdida en calor es mayor que para las lámparas en vacío en proporción casi de 3 a 1.

CUADRO X

Repartición de la energía radiada en una lámpara de 100 watios con filamento de tungsteno	Proporción de la energía total en %	
	Lámpara en vacío	Lámpara de atmósfera gaseosa
Calor perdido por la ampolla (conducción y convección).	0	20
Calor perdido por los hilos de llegada y soporte del filamento (conducción).....	8	5
Calor radiado.	86	67
Luz radiada	6	8
	100	100

Los efectos perjudiciales causados por recalentamiento de las lámparas pueden resumirse como sigue:

Ablandamiento de la ampolla que se deforma bajo la acción de la presión del gas encerrado en su interior. Las deformaciones se producen en distintos puntos de la lámpara, según la posición en que funcione. La temperatura a que aparece esta deformación varía con la calidad del vidrio, oscilando hacia los 310 grados centígrados.

Desprendimiento del casquillo o culote de la lámpara. Es difícil determinar la temperatura a que se efectúa, pues depende esencialmente de la calidad del cemento empleado, pero se produce frecuentemente cuando la temperatura del casquillo excede de 200 grados centígrados.

Fusión de la soldadura de los hilos de llegada de la corriente.

Soldadura de las piezas que aseguran el contacto entre la lámpara y su soporte.

Pérdida del aislante en la parte de conductores próximos a la lámpara por recalentamiento del cobre.

Para estar a cubierto de estos inconvenientes, la temperatura en el culote de la lámpara no debiera pasar de 50 a 60 grados centígrados, pero esta temperatura se sobrepasa con harta frecuencia en la práctica.

En la figura 25 puede apreciarse la distribución de la temperatura en una lámpara de 300 watios. Como se ve, la temperatura máxima se alcanza en el arranque del cuello de la lámpara, pero hay lámparas tubulares para proyección, en las que la temperatu-

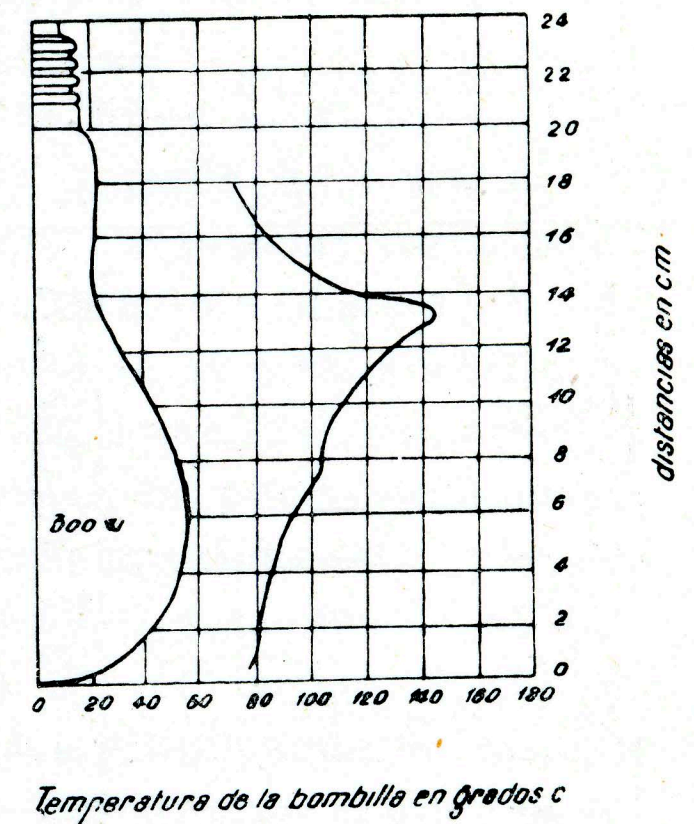


Fig. 25.

ra máxima se alcanza en la parte justamente opuesta al filamento, a causa de la radiación intensa. Por estas razones, las lámparas especiales deben funcionar siempre en la posición que indique el fabricante, que al construirla ha previsto los efectos combinados de radiación y convección, y en cuanto a las lámparas ordinarias deben, como regla general, funcionar siempre *con el casquillo hacia arriba*.

El cuadro número XI da las temperaturas en funcionamiento al aire de distintos tipos de lámparas.

CUADRO XI

TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO DE DISTINTOS TIPOS DE LÁMPARAS CON FILAMENTO DE TUNGSTENO

TIPO DE LÁMPARA	Temperatura de la ampolla Máximo — Grados C.	Temperatura en la parte opuesta al filamento — Grados C.	Temperatura en la unión del culote y el vidrio — Grados C.
50 w. en vacío....	67	67	45
75 — atm. ^a gaseosa.	116	80	83
100 — — .	128	82	84
150 — — .	170	99	66
200 — — .	166	100	77
300 — — .	147	126	80
500 — — .	193	143	91
1.000 — — .	189	117	74
75 — luz solar ...	165	128	105
100 — — ..	160	120	89
150 — — ...	193	154	80
200 — — ...	171	146	82
300 — — ...	196	157	92
500 — — ...	218	184	103

Designación de las lámparas. — Por una costumbre muy arraigada y sin justificación científica alguna, se designan las lámparas según su número de bujías medias horizontales. Procede esta costumbre de los primeros tiempos en que se empleaba la lámpara de filamento de carbón y las primitivas de tungsteno con filamento vertical en zigzag, (figura 20), en las que, por la disposición de su filamento, la intensidad media horizontal da idea de la potencia de la lámpara, pero, como decimos, no tiene justificación en las lámparas modernas con filamento en espiral.

Se han definido las lámparas por su *flujo luminoso* total en *lúmenes*, pero para las necesidades de la práctica, ha parecido más cómodo designarlas según la *potencia eléctrica* que consumen, o sea, en watios. Las cifras impresas en el casquillo de la lámpara corresponden, por tanto, a la tensión de funcionamiento en voltios y a su consumo en watios.

Para las lámparas en vacío de 40 watios en adelante, se puede calcular a razón de 1 watio por bujía. En las de atmósfera gaseosa las variaciones de rendimiento están íntimamente ligadas a la potencia de la lámpara, como se verá más adelante.

En una lámpara definida comercialmente por su intensidad media horizontal, se puede obtener su intensidad media esférica multiplicando por un coeficiente de reducción cuyo valor medio es 0,8. Por tanto, una lámpara de 100 bujías tendrá 80 bujías medias esféricas, y multiplicando $80 \times 12,57$ (véase «Flujo Luminoso»), tendremos el número de lúmenes, igual en este caso a 1.000 aproximadamente.

Lo más racional sería definir las lámparas no por su *consumo específico* en watios por bujía, sino por su verdadero rendimiento en *lúmenes por watio*, o sea, teniendo en cuenta la relación entre el flujo luminoso emitido y la potencia eléctrica absorbida.

La curva fotométrica o de distribución de la intensidad es requisito que debe exigirse cuando se trate de suministros de importancia.

Diversas clases de lámparas con filamento metálico. — No cabe dentro de los límites de este MANUAL, detallar los diferentes tipos de lámparas, que son numerosísimos. Las casas constructoras facilitan a todo el mundo sus listines y catálogos, con

todo género de detalles, datos y características de sus lámparas.

Únicamente diremos que se fabrican actualmente desde la pequeña lámpara que se usa en medicina para reconocimientos de estómago, que puede ser tragada por el paciente con una sonda gástrica, hasta las especiales para iluminación de campos de aviación con potencias luminosas de 250.000 a 1.000.000 de lúmenes, que consumen potencias de 10 a 30 kilowatios.

Con relación a su *forma de alimentación*, las lámparas se construyen *en paralelo y en serie*. Las primeras son las usadas corrientemente y las segundas se emplean para alumbrado público con alimentación en serie y para iluminaciones de carácter espectacular. Ambos tipos difieren esencialmente por las dimensiones de su filamento. En efecto:

Una lámpara en paralelo de tungsteno, en atmósfera gaseosa, de 400 bujías horizontales, o sea 320 esféricas igual a 4.000 lúmenes, absorbe cerca de 260 watios; funcionando a 125 voltios, absorberá una corriente de 2,1 amperios y la resistencia del filamento deberá ser de $125 : 2,1 = 60$ ohmios aproximadamente. El filamento, por tanto, deberá ser *largo y fino*.

Una lámpara de la misma potencia luminosa alimentada en serie, que suponemos deba funcionar con una corriente normal de 7,5 amperios, absorberá cerca de 225 watios, y si funciona a una tensión de 30 voltios, la resistencia de su filamento deberá ser $30 : 7,5 = 4$ ohmios. Su filamento deberá, por tanto, ser *grueso y corto*.

Con relación a su *consumo*, la serie standard más generalmente adoptada por los constructores es la de 15, 25, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 500,

750, 1.000, 1.500 y 2.000 watios. Las deslustradas al interior sólo se construyen en la serie 15-100 watios.

Características de las lámparas de tungsteno. — En el cuadro número XII se consignan las variaciones de los distintos elementos característicos de una lámpara de tungsteno. Supuestos iguales a 100 los valores de *régimen normal*, para los que la lámpara está prevista, las distintas columnas indican las variaciones relativas para valores distintos al de régimen.

CUADRO XII
CARACTERÍSTICAS DE LAS LÁMPARAS DE TUNGSTENO

Tensión — Voltios	Resistencia — Ohmios	Corriente — Amperios	Potencia — Wattios	Intensidad luminosa — Bujías	Rendimiento — Lúmenes-wattios
50	75	66,5	33	8	24
55	78	70,5	39	11	28,5
60	80,5	74,5	45	15	33,5
65	83	78	51	21	40
70	86	81,5	57	27	47,5
75	89	84	64	35	55
80	92	87	70	45	64,5
85	93,5	90,5	77	58	73,5
90	95,5	94	84,5	70	83
95	98	97	92,5	86	91
100	100	100	100	100	100
105	101,5	103	108	118	109
110	103,5	106	116,5	140	120
115	105,5	109	125	165	131
120	107,5	111,5	134	192,5	143,5
125	109,5	114	142	225	157
130	112	116,5	151	260	172
135	113,5	119	160	295	185
140	115	121,5	170	335	193

En el diagrama de la figura 26 pueden verse expresados gráficamente los valores del cuadro anterior, con las curvas representativas de la resistencia R , la corriente A , la potencia W , el rendimiento L/W y la intensidad luminosa C , lo que da una idea más

clara de las características de funcionamiento.

Examinando la curva característica de la resistencia, se observa que el coeficiente de temperatura del tungsteno es *positivo* (experimentalmente se ha demostrado que su valor es de 0,5 por 100

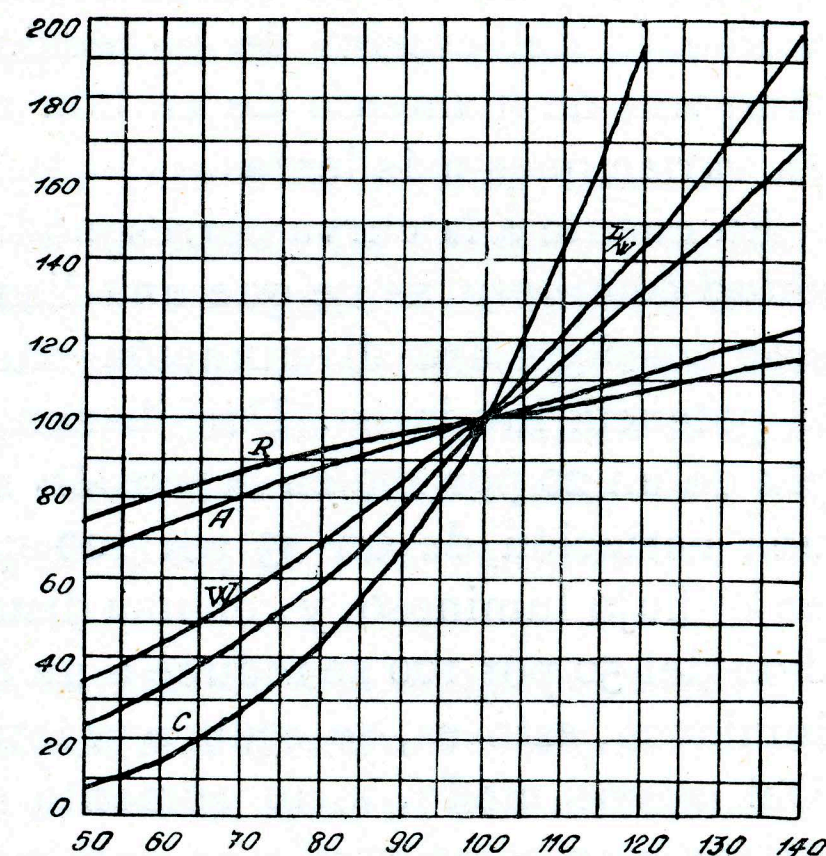


Fig. 26.

por grado centígrado). Esto hace que la lámpara sea en cierto modo *auto-reguladora*, pues cuando un aumento de tensión tiende a aumentar la corriente en el filamento, aumenta al propio tiempo la temperatura, y, por tanto, la resistencia. No hay, sin embargo, que confiar demasiado en esta auto-regulación; las variaciones de voltaje son fatales para la vida de las lámparas en general.

La curva de *corriente*, casi recta en la proximidad del punto de régimen, está poco inclinada sobre el eje de abscisas, siendo sus variaciones más suaves que las que corresponden a la tensión. Se puede ver que a un aumento o disminución de la tensión de un 10 por 100, por ejemplo, corresponde

solamente un aumento de corriente de 6 por 100, o en límites más amplios: a un voltaje mitad del de régimen corresponde una corriente igual a $\frac{2}{3}$ de normal.

De la forma de la curva de corriente se deduce la de *potencia absorbida*; esta no varía proporcionalmente del cuadro de la tensión, como en las lámparas de filamento de carbón metalizado, sino en variaciones más lentas.

En cuanto a la curva correspondiente a la *intensidad luminosa*, se ve que una disminución de tensión ocasiona una disminución muy acentuada en la potencia luminosa. Una disminución, por ejemplo de un 20 por 100 en la tensión normal, produce una variación de un 45 por 100 aproximadamente en el flujo luminoso, y con una disminución en tensión del 50 por 100 se reduce a un 8 por 100 el flujo luminoso, esto es, se reduce prácticamente a cero. Del mismo modo, a un aumento sobre la tensión de régimen corresponde un aumento mucho mayor en el flujo emitido; aumentando la tensión la luz se hace cada vez más blanca; pero estas sobretensiones acortan considerablemente la vida de la lámpara.

Rendimiento de la lámpara de tungsteno. — En líneas generales, la eficacia luminosa de una lámpara aumenta con la temperatura de su filamento, o sea, con la tensión de servicio. Pero cuanto más aumenta la temperatura, más se acorta la vida de la lámpara. La fabricación de lámparas se apoya, por tanto, en estas dos condiciones contradictorias que precisa equilibrar en lo posible.

Generalmente se calcula este equilibrio a base de una duración normal para la lámpara de mil horas, previniendo en consecuencia la temperatura de funcionamiento.

Puede haber casos, sin embargo, en que resulte económico someter las lámparas a una sobretensión de servicio sacrificando su duración; tal sucede en las ciudades en que el precio de la energía eléctrica es elevado. Por el contrario, si el precio de la energía es bajo, habrá economía empleando lámparas de voltaje superior al del régimen de alimentación.

Para aquilatar el efecto útil, precisa calcular en cada caso el precio de costo del *lumen-hora*, esto es, sumar al precio de la lámpara el importe de la corriente eléctrica consumida durante la total duración de la lámpara y dividir por la cantidad total de lúmenes-hora producidos durante este tiempo. Al tratar de la duración de las lámparas insistiremos sobre esta cuestión.

El rendimiento normal de una lámpara de tungsteno en vacío, para una duración de mil horas, es de 9,5 lúmenes por watio, que puede aumentarse en un 20 por 100, llegando a 11 lúmenes por watio, si se aumenta la tensión en un 10 por 100, con lo que se disminuye su duración, naturalmente. El rendimiento de esta lámpara no varía mucho con su potencia; una lámpara de 1.000 lúmenes vienen a ser un 15 por 100 superior en rendimiento a una de 200; la diferencia es debida a la pérdida por conducción que en las lámparas grandes representa un tanto por ciento menor de la potencia absorbida que en las pequeñas.

En las lámparas de atmósfera gaseosa la determinación del rendimiento es más compleja y varía entre límites más extensos.

Como hemos visto al tratar de estas lámparas, tienden a aumentar su rendimiento la mayor temperatura de funcionamiento de su filamento y la tendencia de la corriente gaseosa a llevar a la parte

alta de la lámpara las partículas evaporadas del filamento que tienden a ennegrecer la ampolla.

Por el contrario, tienden a disminuir el rendimiento la mayor pérdida por conducción, debida a la mayor temperatura, y la mayor pérdida por convección, debida a la corriente gaseosa que enfría el filamento llevando el calor hacia arriba. Estas pérdidas pueden llegar hasta un 25 por 100 de la potencia absorbida, por lo que se concibe que en determinadas condiciones puedan llegar a quedar anuladas las ventajas que el gas proporciona.

La segunda causa que hemos indicado, o sea, las pérdidas por convección, son las que alteran más profundamente el rendimiento en esta clase de lámparas.

Estas pérdidas son directamente proporcionales a la superficie del filamento y, por tanto, a su diámetro, e inversamente proporcionales a su masa, o sea, al cuadrado de su diámetro; por tanto, serán mayores en una lámpara de filamento largo y fino (lámparas en paralelo) y menores para un filamento corto y grueso (lámparas en serie).

Tienden a disminuir estas pérdidas los filamentos *espiralizados*, pues éstos sufren en la superficie externa el efecto de enfriamiento producido por la corriente gaseosa, en tanto que la superficie interna queda resguardada de dicha corriente.

Las pérdidas debidas a convección, de las que venimos hablando, aumentan con la potencia de las lámparas, pero este aumento es muy lento. Así, en una lámpara de 100 watios (aproximadamente 1.350 lúmenes) la pérdida es de 25 watios, o sea, un 25 por 100, en tanto que en una de 1.000 watios (aproximadamente 18.000 lúmenes) es sólo de 50 watios, o sea, un 5 por 100 de la potencia absorbida. Se ve, pues, que el rendimiento global aumentará con la

potencia de las lámparas, siendo muy reducido en las pequeñas unidades; así, una lámpara de 200 watios en atmósfera gaseosa, produce el mismo flujo que *trece* lámparas en vacío de 25 watios cada una, lo que supone un consumo de energía del 62,5 por 100 más que con la lámpara de 200 watios.

Por lo que a la corriente se refiere, a igualdad de potencia luminosa tiene mayor rendimiento la lámpara construída para un régimen de corriente superior que la construída para menor amperaje.

La denominación corriente de «lámparas de medio watio», salvo en condiciones especiales, es inadecuada por no estar conforme con la realidad. En los usos domésticos puede asegurarse que esa equivalencia nunca es exacta.

En el cuadro número XIII se expresan en valores medios aproximados el número de lúmenes de diferentes tipos de lámparas y su rendimiento en lúmenes por watio consumido.

CUADRO XIII
LÁMPARAS EN ATMÓSFERA GASEOSA. — FLUJO Y RENDIMIENTO

TIPO DE LÁMPARA	100-130 VOLTIOS		200-260 VOLTIOS	
	Lúmenes		Lúmenes	
	Lúmenes-watios		Lúmenes-watios	
25 watios clara.....	220	8,8	» 205	» 6,8
30 —	» 420	10,5	325	8,1
40 —	720	12	580	9,7
60 —	955	12,7	780	10,4
75 —	1.350	13,5	1.150	11,5
100 —	2.150	14,3	1.925	12,8
150 —	3.000	15	2.720	13,6
200 —	4.800	16	4.335	14,4
300 —	8.375	16,8	7.825	15,7
500 —	13.125	17,5	12.225	16,3
750 —	17.750	17,8	16.750	16,8
1.000 —	27.000	18	26.250	17,5
1.500 —	36.500	18,2	35.500	17,8
2.000 —	125	8,3	110	7,3
deslustrada al interior.	230	9,2	205	8,2
15 —	420	10,5	360	9
25 —	720	12	580	9,7
40 —	955	12,7	780	10,4
60 —	1.350	13,5	1.150	11,5
75 —				
100 —				

Duración de las lámparas.—Ya hemos visto que el valor de la tensión de servicio está íntimamente ligado con la duración de las lámparas en derivación.

Fácilmente puede comprenderse, teniendo en cuenta la longitud de los filamentos, relativamente reducida para la elevada resistencia que debe obtenerse en ellos, que una falta de homogeneidad tan insignificante que pudiera pasar inadvertida, puede producir alteraciones y fenómenos de recalentamiento en un punto determinado del filamento, que den como resultado que se acentúe su destrucción en ese punto, produciéndose su rotura. Esta es la causa que más frecuentemente pone las lámparas fuera de servicio.

La otra causa es el ennegrecimiento de la ampolla, no suele tener lugar dentro de las mil horas de servicio útil; de no intervenir la rotura del filamento, no es raro que una lámpara de tungsteno pase de las mil quinientas horas de servicio, pero de todos modos deben desecharse cuando disminuya su intensidad luminosa en un 20 por 100. Ya hemos visto que en las lámparas de atmósfera gaseosa este inconveniente se aminora por ennegrecerse de preferencia el cuello de la lámpara.

En las figuras 27 y 28 pueden verse las curvas de duración en función del voltaje y la corriente. En ellas se ve que un aumento de tensión de un 10 por 100 produce el mismo efecto que un aumento de corriente de 6 por 100.

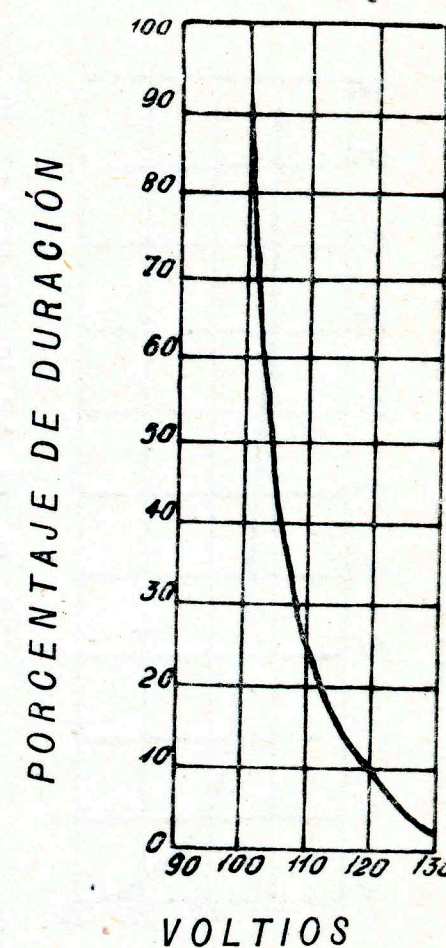


Fig. 27.

Ya hemos dicho que sometiendo las lámparas a una sobretensión, esto es, empleando lámparas fabricadas para un voltaje inferior al de régimen en la red de alimentación, se aumenta el rendimiento en luz, pero perjudicando la duración de la lámpara.

Siendo susceptibles de variación de un lugar a otro, el precio de la lámpara y el de suministro del

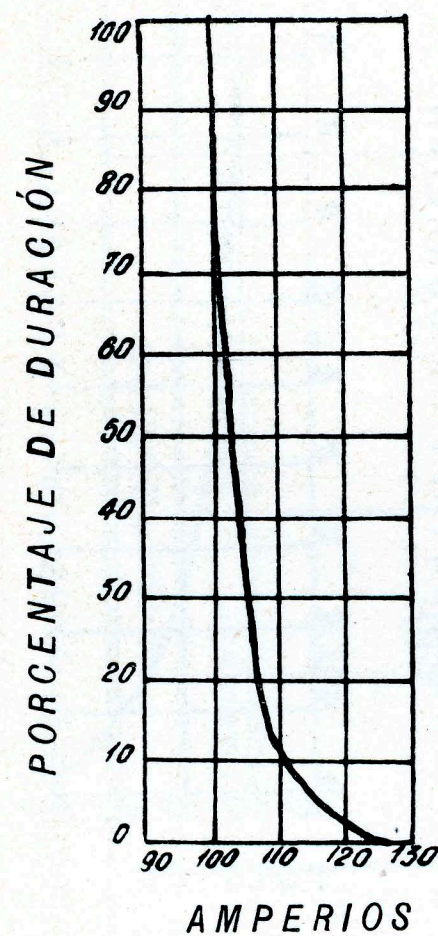


Fig. 28.

kilowatio-hora de energía consumida, factores ambos que intervienen directamente en el precio de coste del lumen-hora, se comprende que no siempre será la duración máxima de la lámpara la más económica. Entre las fórmulas que determinan esta duración exponemos la siguiente:

Duración más económica:

$$\frac{6.000 P}{w \times p},$$

en la que P representa el precio de la lámpara, w su potencia en watios y p el precio de la energía. Si aplicamos esta

fórmula a las condiciones corrientes en Madrid (0,60 pesetas el kilowatio-hora) y para una lámpara de 100 watios (5 pesetas de coste aproximado), la duración más económica resulta de *quinientas horas*, lo que sobre la curva de la figura 27 vemos que equivaldría a emplear lámparas de 105 voltios aproximadamente en una red alimentada a 110.

Téngase, no obstante, en cuenta que los valores obtenidos son sólo relativos, pues la tensión de ali-

mentación nunca es constante, ni en el comercio suelen encontrarse lámparas exactamente del voltaje requerido, pero puede haber casos particulares en que la aplicación práctica de esta teoría sea posible y sus resultados económicos no son despreciables.

CAPÍTULO V

DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO

Generalidades. — Del examen de la curva fotométrica de una lámpara desnuda (figura 21), se deduce que el empleo de la luz, tal como la lámpara la produce, sin interposición de elemento alguno que modifique su distribución, ha de resultar siempre molesto y perjudicial para la vista y al propio tiempo antieconómico y antiestético.

Hemos dejado explicado en capítulos anteriores los perjuicios que el deslumbramiento produce; la forma de la curva de distribución de la figura 21 nos hace ver cómo en la mayoría de los casos en que se emplease la lámpara desnuda, el resultado sería antieconómico, ya que aproximadamente la mitad del flujo producido está dirigido hacia arriba, o sea, en dirección contraria al plano en que la luz ha de utilizarse. En cuanto al aspecto desagradable de una lámpara desnuda pendiente de su conductor, es cuestión que no precisa aclaraciones.

Un rayo de luz que encuentra en su camino un obstáculo, puede ser *absorbido* total o parcialmente, o bien sufrir los fenómenos de *reflexión*, *refracción* y *difusión*, según la naturaleza del obstáculo y su posición con relación al rayo incidente.

Los tres fenómenos últimamente citados se efectúan siempre originando una cierta pérdida de luz en el rayo incidente, y en ellos se funda la cons-

trucción de todos los aparatos destinados a modificar la distribución del flujo luminoso, en la forma más adecuada para cada uso.

Reflexión. — Las leyes de la reflexión son de importancia capital en Luminotecnia.

Las distintas formas en que este fenómeno puede producirse, podemos condensarlas del siguiente modo:

Reflexión sobre superficies pulimentadas (reflexión regular). Figura 29. — Todo el haz luminoso se refleja en la misma

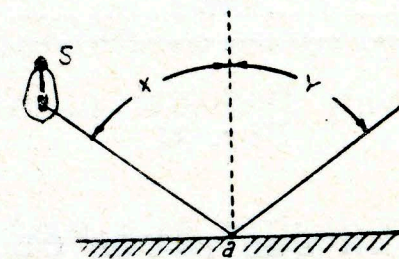


Fig. 29.

dirección. Los ángulos del rayo incidente y del reflejado con la normal son iguales. Variando, por tanto, la posición de la superficie reflectora, se pueden enviar los rayos reflejados en la dirección deseada.

Reflexión sobre vidrios metalizados por una cara. Figura 30. — Parte del haz luminoso se re-

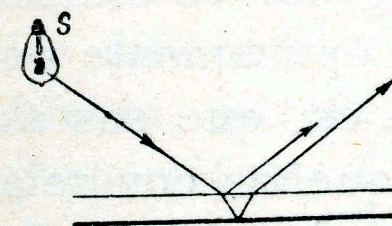


Fig. 30.

fleja sobre la superficie del vidrio; el resto penetra, sufriendo la refracción y se refleja sobre la superficie metalizada emergiendo paralelamente a los rayos primeramente reflejados.

En los reflectores fabricados sobre esta base, la absorción es mayor, pues hay que sumar a la absorción del vidrio la del metal. Para el vidrio plateado, el rendimiento baja desde 92 por 100 para la plata bruñida a 82 por 100, pero en cambio presenta la ventaja de no empañarse, con lo que su conservación es mucho más sencilla.

Reflexión sobre porcelana y hierro esmaltado. — Se efectúa como muestra la figura 31. Una parte de luz se refleja regularmente y el resto se difunde.

El hierro esmaltado, es muy empleado en reflec-

tores de tipo económico; la luz que se refleja regularmente es un 4 a un 5 por 100 y la difundida oscila entre el 60 y 70 por 100.

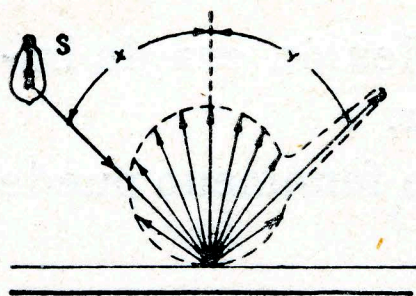


Fig. 31

Reflexión sobre una superficie mate. Figura 32. — Las superficies difusoras pueden considerarse como formadas por pequeños elementos planos con diferentes orientaciones, que al recibir un haz luminoso refle-

jan sus rayos en distintas direcciones. Las superficies difusoras no pueden dirigir la luz en un sentido determinado, puesto que tienen el mismo brillo en todas direcciones.

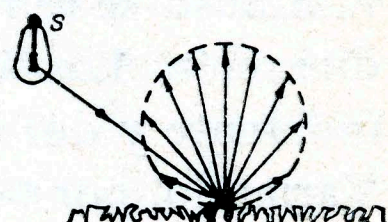


Fig. 32

Reflexión sobre prismas. — La figura 33 demuestra cómo se efectúa la reflexión total por medio de un prisma.

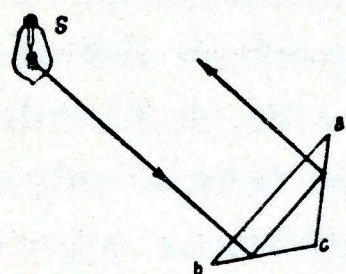


Fig. 33

La reflexión *regular* se efectúa sobre superficies ópticamente pulimentadas, esto es, que sus asperezas sean pequeñas con relación a la longitud de onda de los colores.

Si llamamos F_0 al flujo incidente y F al flujo reflejado regularmente, la relación $\frac{F}{F_0} = \rho$ se llama *factor de reflexión regular* y su valor depende de la naturaleza de la superficie, del ángulo de incidencia de los rayos luminosos y del medio en que se efectúa la reflexión.

Según que la luz pueda o no penetrar en el interior del cuerpo reflector, se distinguen dos clases de reflexión: la reflexión *vítrea* y la reflexión *metálica*.

En la reflexión *vítrea* podemos considerar dos casos:

1.º Que el haz luminoso se propague en el aire y se refleje en la superficie de separación entre el aire y el vidrio. En este caso, si el haz incide normalmente, el factor de reflexión es muy bajo (0,043 para el vidrio ordinario) y aumenta muy rápidamente a medida que el ángulo de incidencia aumenta hasta llegar a valer prácticamente la unidad para incidencias rasantes.

2.º El haz se propaga en el vidrio y se refleja en la superficie de separación entre el vidrio y el aire. El poder reflector es el mismo que en el caso anterior para la incidencia normal. Cuando el ángulo de incidencia aumenta, la reflexión crece primero muy lentamente para llegar a valer la unidad para valores del ángulo de incidencia próximos a 41 grados, continuando igual a la unidad cuando el ángulo aumenta.

La reflexión vítrea no es *selectiva*, esto es, que las diferentes radiaciones que constituyen la luz blanca, se reflejan aproximadamente en la misma proporción; así tenemos para longitudes de onda de 0,768 un factor de reflexión de 0,041 y para 0,434 el factor es de 0,043, valores extremos que como se ve difieren escasamente.

En la reflexión *metálica* las leyes de la reflexión varían bastante de las que dejamos expuestas. Para la incidencia normal el factor de reflexión metálica es mucho más elevado que en la reflexión vítrea (asciende de 0,05 a 0,5).

La reflexión metálica además es *selectiva*, ya que los cuerpos metálicos no reflejan igualmente todas las radiaciones que componen la luz blanca.

En la figura 34 pueden verse las curvas representativas de los factores de reflexión para diferen-

tes metales en función de las longitudes de onda de los colores del espectro.

La plata pulimentada es el metal que mejor refleja la luz, siendo su poder de reflexión muy constante para los diferentes colores; por esta razón se emplean corrientemente los reflectores de vidrio.

El poder de reflexión de la plata baja muy rápidamente para valores pequeños de la longitud de

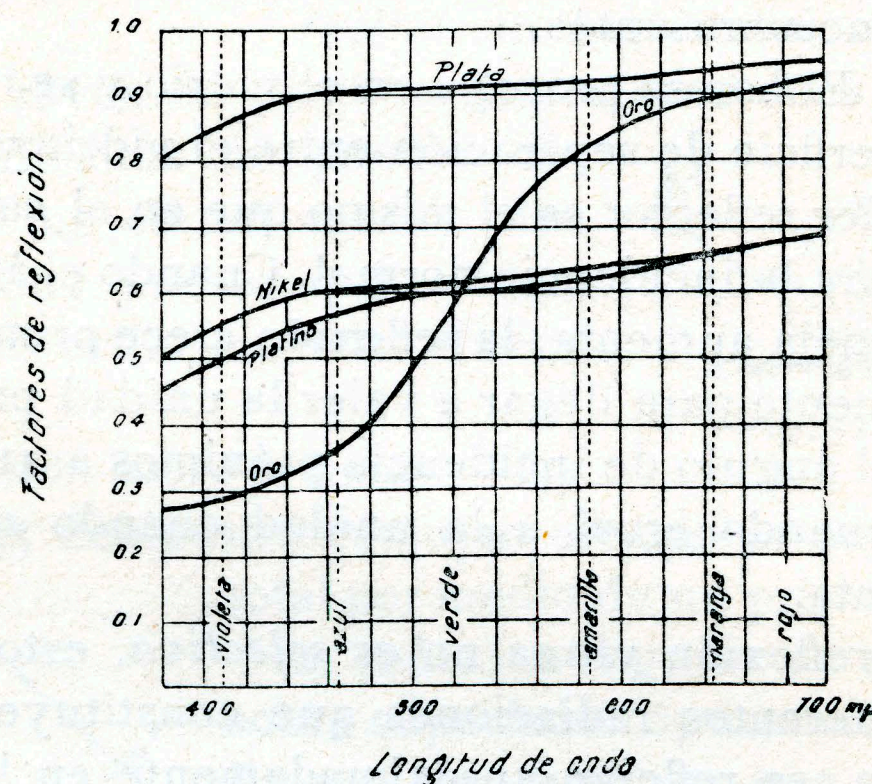


Fig. 34

onda; así, un reflector de plata sería completamente ineficaz para las aplicaciones terapéuticas de los rayos ultravioleta.

Los reflectores de metales dorados reflejan bien del amarillo al rojo y producen por tanto tonos de luz muy *calientes*.

En la reflexión metálica, el factor de reflexión varía poco con el ángulo de incidencia; así, tenemos para un valor de 20 grados en dicho ángulo, 0,601 como factor de reflexión y para 85 grados el factor es 0,711.

Como ya hemos indicado anteriormente, si orien-

tamos convenientemente una superficie reflectora, podremos enviar los rayos luminosos en la dirección que nos convenga; por tanto, con este género de superficies podemos deformar fuertemente la curva fotométrica correspondiente a una lámpara desnuda

y enviar el flujo luminoso en una dirección determinada, tal como lo demuestra la figura 35, en la que mediante una superficie parabólica enviamos todo el flujo en

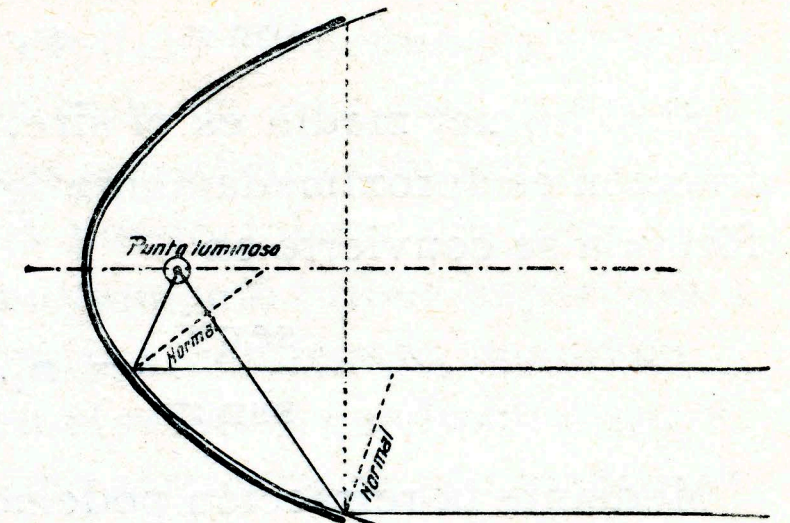


Fig. 35.

forma de un haz paralelo en la dirección requerida.

Al final del capítulo expondremos las características de reflexión de las diferentes sustancias metálicas y no metálicas.

Refracción. — No siendo constante la velocidad con que se propaga la luz en todos los medios, al pasar un haz luminoso de un medio a otro sufre una desviación; a este fenómeno se llama refracción. El ángulo que el rayo incidente forma con la normal es el de incidencia, y el que forma el rayo refractado se llama ángulo de refracción.

Si V_1 es la velocidad de propagación de la luz en el primer medio y V_2 la velocidad en el segundo, el cociente $\frac{V_1}{V_2} = n$ se llama *índice de refracción*.

La velocidad de propagación de la luz en el vacío es de 300.000 kilómetros por segundo, igual aproximadamente a la velocidad de propagación en el aire, disminuyendo en los medios más densos como el vidrio, el agua, etc.

Siendo i y r los ángulos de incidencia y de reflexión y n_1 y n_2 los índices de refracción del primer medio y del segundo, la ley fundamental de la refracción se expresa así:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Si el primer medio es el aire, cuyo índice de refracción es aproximadamente igual a la unidad, la fórmula se convierte en

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n_2.$$

Mediante la refracción podemos igualmente diri-

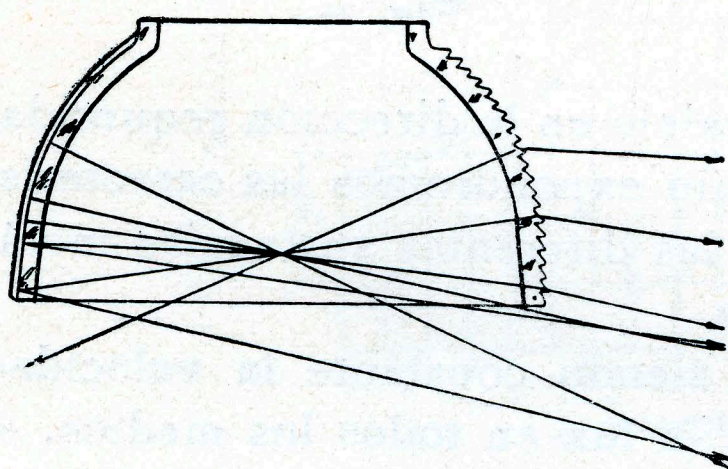


Fig. 36.

gir el flujo luminoso deformando la curva fotométrica del foco primitivo. Para ello generalmente se hace uso de los vidrios prismáticos (cuyos ángulos y orientacio-

nes se calculan de antemano) y de lentes.

Así por ejemplo, en la figura 36 vemos un refractor en forma de cúpula, en el que se resuelve el problema de dirigir todo el flujo luminoso hacia la derecha y hacia abajo. Para ello el lado izquierdo del refractor está formado de prismas orientados verticalmente con ángulo a 90 grados que producen la reflexión total de la luz (fig. 37) y el lado derecho de prismas orientados

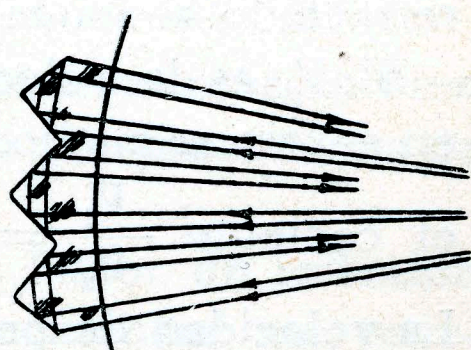


Fig. 37.

horizontalmente que dirigen hacia abajo los rayos luminosos.

En el capítulo correspondiente al alumbrado público encontraremos diferentes aplicaciones de esta clase de aparatos.

Difusión. — En el capítulo III definiremos el *brillo* de un objeto, exponiendo en el cuadro número V los brillos de distintas superficies luminosas.

El ojo humano no puede tolerar sin sentir las molestias del deslumbramiento brillos superiores a 0,5 bujías decimales por centímetro cuadrado, y como puede verse en el referido cuadro número V, en una lámpara de tipo corriente de 500 watios, se llega a un brillo de 1.000 bujías por centímetro cuadrado. De aquí la necesidad de amortiguar este brillo disminuyendo la intensidad específica para hacer que la luz llegue a los ojos sin dañarlos y permitiendo una visión perfecta, fin que se consigue mediante el empleo de los fenómenos de difusión.

En efecto: si una de estas lámparas de 500 watios, a que nos referimos anteriormente, se encierra en un globo difusor de 25 centímetros de diámetro de vidrio opalino, el cual presenta a la vista una superficie aparente de aproximadamente 500 centímetros cuadrados, el brillo que presente este globo será 500 veces menor que el del filamento de la lámpara, mejor dicho, aun será menor, pues el vidrio opalino absorbe una cierta cantidad de luz.

La difusión puede obtenerse de dos maneras: o por *reflexión*, como ya hemos visto (figura 32) y explicado, o por *transmisión*. En cualquiera de los dos casos el haz luminoso de rayos paralelos interceptados por una superficie difusora, queda descompuesto en otro haz luminoso, cuyos rayos no son paralelos entre sí. La superficie difusora puede en-

tonces considerarse como una fuente de luz secundaria y medir su intensidad luminosa en diferentes planos normales a la superficie, obteniendo para cada uno de ellos la *curva indicadora de difusión o de emisión*, como ya explicamos al ocuparnos de la ley de Lambert.

De la misma manera que para la reflexión regular podemos considerar en este caso los factores de *reflexión difusa* y de *transmisión difusa*, que vendrán expresados por la relación entre el flujo reflejado o transmitido y el total que cae sobre la superficie difusora.

En la difusión por transmisión, vamos a ocuparnos de dos casos fundamentales: la difusión por *vidrios deslustrados*, mediante tratamiento por ácidos o por arena, y la difusión por *vidrios opalinos*.

En los *vidrios deslustrados*, figura 38, la luz se difunde al atravesar la cara deslustrada, que podemos suponer formada, como en el caso de las superficies mate, de una serie de pequeños planos con

diversas orientaciones que difunden los rayos paralelos del haz. La luz, por tanto, sufre una primera reflexión normal en la cara lisa del vidrio, una refracción al penetrar en su masa y, por último, la difusión sobre la cara mateada. Ahora bien: como el espesor de la capa mate es

muy reducido, no se puede evitar que algunos rayos como el *b* después de sufrir la refracción, emerge paralelamente a la dirección del rayo incidente, y, por tanto, si miramos en esa dirección percibiremos el punto luminoso *S*. Este es un grave inconveniente que limita el empleo del vidrio des-

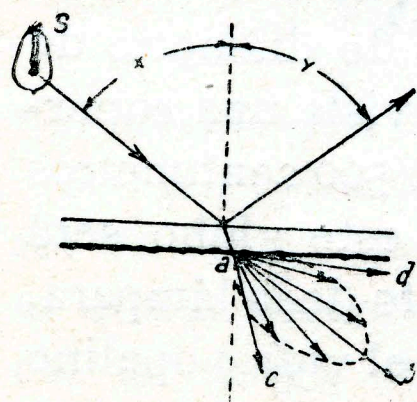


Fig. 38.

lustrado, si se quiere obtener un efecto artístico y suprimir por completo el deslumbramiento.

El inconveniente citado puede evitarse por dos procedimientos: o reduciendo la intensidad de los puntos luminosos y multiplicando el número de ellos, lo que sabemos que no es económico por el poco rendimiento de las lámparas pequeñas, o separando los puntos luminosos del cristal, lo que muchas veces no puede hacerse por carecer de espacio suficiente.

En los *vidrios opalinos* el fenómeno se efectúa de modo distinto.

El vidrio opalino se obtiene mediante la adición en la masa del vidrio ordinario fundido, de algunas sustancias tales como cloruros, sulfatos, fluoruros, fosfatos y aluminatos de sodio y calcio. Actualmente el elemento más empleado es la «criolita», que es un fluoruro doble de aluminio y sodio. Mediante esta adición se obtiene, al enfriamiento, la formación de determinados compuestos que se precipitan en la masa en forma generalmente de esférulas, cuyo índice de refracción es distinto al de la masa en que están cimentadas.

Las cualidades del vidrio dependen del número y tamaño de las partículas precipitadas, que deben ser las justas para que el vidrio no resulte *selectivo*. En efecto, si las partículas precipitadas son demasiado pequeñas, el vidrio difundirá de preferencia los colores de pequeña longitud de onda y obrará poco sobre los de longitud de onda larga, y por tanto, las radiaciones rojas atravesarán directamente el vidrio, de modo que el haz refractado será principalmente rojo y el haz difundido azul.

Se ha determinado por medio de ensayos micrográficos que la forma de los corpúsculos precipitados más conveniente es la esférica, con lo que la

absorción es mínima, y en cuanto al tamaño el más apropiado para una transmisión no selectiva es el de 1,2 micrones de diámetro en las esférulas.

La difusión con esta clase de vidrios se efectúa aun cuando sean muy delgados, bastando una ligera capa sobre una de las caras de un vidrio corriente para obtener una buena difusión.

Los vidrios opalinos de color están formados de una capa de color sobre un cristal opal corriente. Esto permite trabajar estos vidrios al chorro de arena y haciendo desaparecer la capa de color en los lugares que se desee, grabar letras, dibujos, etc., lo que hace de este vidrio un gran elemento para decoración luminosa.

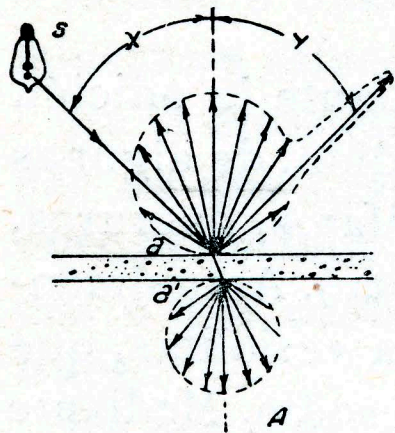


Fig. 39.

La figura 39 muestra cómo se efectúa la reflexión y transmisión difusa con esta clase de vidrios.

Absorción. — Todos los objetos absorben una parte de la luz que cae sobre ellos. La absorción varía desde una pequeñísima cantidad en el vidrio claro a la casi totalidad en el negro de humo, y su valor depende de la naturaleza y color del cuerpo sometido a la acción de la luz, de su grueso cuando la luz actúa por transparencia y del color mismo de la luz.

Los dos primeros son bien conocidos, en cuanto al último hemos de hacer las siguientes aclaraciones:

La luz roja tiene un gran poder de penetración, y, por tanto, resiste a la absorción. Por esta razón las señales de peligro deben ser siempre rojas, ya

que las ondas rojas penetran perfectamente la niebla, el polvo y el humo.

El vidrio ordinario absorbe de preferencia las ondas azules.

Los cristales amarillos dejan pasar las ondas largas y detienen las pequeñas, que son las más perjudiciales para la vista, por esto se emplea en las gafas contra el sol más frecuentemente el cristal amarillo. Su empleo sería muy conveniente en los faros de los automóviles, pues aun disminuyendo el total de la luz emitida, no dejarían pasar las ondas cortas que por su poco poder de penetración se reflejan en el humo y en el polvo viniendo directamente a los ojos del conductor, al que molestan produciéndole deslumbramiento y proporcionando una visión defectuosa.

Se llama *factor de absorción* a la relación n_a del flujo absorbido F_a al flujo incidente F_o , y como el flujo absorbido en un cuerpo opaco es la diferencia entre el incidente y el reflejado, se tiene:

$$n_a = \frac{F_o - F_r}{F_o} = 1 - \frac{F_r}{F_o} = 1 - \rho,$$

siendo ρ el factor de reflexión según se ha definido anteriormente.

La reflexión selectiva aplicada a la iluminación. — Ya hemos visto que la reflexión metálica es selectiva, e igualmente lo serán para la luz blanca las superficies pintadas de diversos colores, ya que sabemos que el color de un cuerpo depende de la absorción que ejerce sobre determinadas radiaciones luminosas y la reflexión que ejerce sobre otras.

Como la mayoría de la luz artificial es abundante en rayos rojos, es evidente que si se quiere obtener un buen rendimiento de la luz, tanto las paredes

como el techo de las habitaciones deberán ser pintadas en tonos claros, de preferencia tonos crema, gris perla o verdes clarísimos. Los azules y los rojos absorben mucha más luz, aun en sus tonalidades más claras.

También tiene una gran influencia sobre el color de la luz reflejada la naturaleza de la superficie iluminada. Una superficie brillante refleja una gran cantidad de luz que está poco influenciada por el color propio de la superficie en cuestión y sin que éste haya ejercido su poder selectivo sobre la luz blanca; el efecto que se produce al iluminar estas superficies brillantes es el de que su color se aclara, y si la luz es suficientemente intensa, llega a desaparecer por completo el color de la superficie.

Por el contrario, en las superficies pintadas en color mate, la reflexión se hace difusa y la luz reflejada acusa fuertemente el color de la superficie que comunica a los objetos próximos.

CUADRO XIV

REFLEXIÓN Y ABSORCIÓN PARA DIFERENTES SUSTANCIAS METÁLICAS

SUSTANCIA REFLECTORA	REFLEXIÓN		ABSORCIÓN	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Plata.....	92 %	90 %	10 %	8 %
Vidrio plateado.....	85 —	70 —	30 —	15 —
Esmalte blanco.....	75 —	66 —	34 —	30 —
Níquel pulimentado.....	55 —	53 —	47 —	45 —
Níquel mate.....	52 —	48 —	52 —	48 —
Aluminio pulimentado.....	70 —	67 —	33 —	30 —
Aluminio mate.....	60 —	55 —	45 —	40 —
Metal cromado pulimentado.....	62 —	61 —	39 —	38 —
Metal cromado mate.....	55 —	52 —	48 —	45 —
Metal estañado.....	69 —	»	»	31 —
Chapa pintada de blanco.....	86 —	76 —	24 —	14 —

CUADRO XV
REFLEXIÓN, TRANSMISIÓN Y ABSORCIÓN DE DIFERENTES SUSTANCIAS

SUSTANCIAS	Grueso — Mínimo	Reflexión		Transmisión		Absorción	
		Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Vidrio claro.....	2-4	8	6	92	90	4	2
— prensado.....	3,2-6	24	7	90	57	21	3
— deslustrado al exterior.....	1,75-3	20	7	87	63	17	4
— deslustrado al interior.....	1,75-3	16	6	89	77	11	3
— opalino blanco.....	1,7-3	52	29	66	36	10	3
— rojo.....	2-3	69	64	4	2	34	29
— naranja.....	2-3	68	63	10	6	31	22
— amarillo.....	2-3	68	57	20	12	23	20
— verde.....	2-3	66	60	9	3	31	30
— azul.....	3	67	»	1	»	»	32
Mármol pulimentado.....	7-10	71	30	8	3	65	24
Alabastro.....	11-13	67	49	30	17	21	14
Pergamino.....	»	48	»	42	»	»	10
— amarillo.....	»	37	»	41	»	»	22
— — oscuro.....	»	36	»	14	»	»	50
Seda blanca.....	»	38	29	71	61	»	1
— de color.....	»	24	5	54	13	80	27

CUADRO XVI		
PODER DE REFLEXIÓN DE LOS COLORES		
Colores	TONALIDAD	Reflexión %
Blanco.....	Blanco nieve.....	76
	— marfil.....	67
Amarillo.....	Crema.....	69
	Canario.....	67
	Paja.....	65
	Oro.....	58
	Oro viejo.....	37
Verde.....	Claro.....	54
	Prado.....	39
	Musgo.....	25
	Veronés.....	23
	Hoja.....	20
Rojo.....	Naranja.....	39
	Escarlata.....	29
	Rojo vivo.....	27
	Granate.....	12
Rosa.....	Bengala.....	60
	Carne.....	57
Pardo.....	Habana claro.....	37
	Ladrillo.....	31
	Siena.....	15
Gris.....	Trianón.....	48
	Perla.....	42
	Tórtola.....	30
	Plata.....	28
	Pizarra.....	19
Azul.....	Hortensia.....	49
	Cielo.....	26
	Azul vivo.....	15
	Pastel.....	12
	Violáceo.....	11
	Ultramar.....	9
Negro.....	Ébano.....	4

CUADRO XVII

REFLEXIÓN DIFUSA DE ALGUNAS SUSTANCIAS (1)

S U S T A N C I A S	R e f l e x i ó n %	
	Máxima	Mínima
Papel secante blanco.....	85	80
Yeso blanco... ..	95	90
Pintura blanca mate....	80	75
Carbonato de magnesio.....	99	98

(1) La pintura difusora empleada en el Laboratorio Central de Electricidad de París, se compone de:

Acetato de amilo.....	190 cm. cúbicos.
Oxido de cinc.	106 gramos.
Celuloide blanco.....	25,8 —

CAPÍTULO VI

ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS

Ventajas de un buen alumbrado público. — Pueden condensarse del siguiente modo:

Mayor seguridad para peatones y vehículos ante el continuo aumento de tráfico en las grandes vías.

Mayor seguridad en las personas contra atentados criminales.

Aumento en los negocios comerciales en las calles bien iluminadas, por acudir a ellas de preferencia el público.

Aumento en el valor de la propiedad urbana, porque el poder de atracción de la luz, hace preferir las calles bien iluminadas para instalar negocios comerciales o elegir vivienda.

Los defectos principales que se pueden notar en el alumbrado público son los siguientes:

Intensidad de iluminación escasa.

Falta de un plan de conjunto en la iluminación, por lo que en las instalaciones se procede según el capricho o las necesidades de momento.

Falta de concordancia y uniformidad en general, entre la categoría de las vías y el procedimiento de su iluminación.

Falta de uniformidad en los procedimientos de alimentación y equipos empleados.

Deficiencias en la conservación de los aparatos

que aparecen empolvados y sucios con la consiguiente disminución de su rendimiento luminoso.

Deslumbramiento.

Empleo, aun en instalaciones modernas, de aparatos anticuados de escaso rendimiento (a veces no se emplea aparato de ninguna clase, sino simplemente la lámpara desnuda), supeditando a un ahorro inicial un gasto excesivo por consumo.

Falta de estética en los equipos de carácter ornamental, que por regla general no se estudian de acuerdo con el aspecto arquitectónico del conjunto, ofreciendo contrastes desagradables.

Puntos principales a estudiar en un proyecto de alumbrado urbano. — Entendemos que estos puntos deben ser los siguientes:

- 1.º Condiciones de visibilidad.
- 2.º Clase de la vía y determinación de su iluminación media.
- 3.º Elección del tipo de aparato.
- 4.º Disposición de los focos.
- 5.º Altura de los focos.
- 6.º Espaciamiento. Coeficiente de uniformidad.
- 7.º Cálculo de la iluminación.
- 8.º Aspecto artístico de la instalación.
- 9.º Estudio económico.

1.º **Condiciones de visibilidad.** — El obtener buenas condiciones de visibilidad es el fin principal que se persigue con el alumbrado público. Entre los factores que integran la visión en el caso que nos ocupa, claro es que el principal es el efecto directo de un buen alumbrado, pero afectado el problema muy intensamente siempre por las condiciones económicas, precisa tener en cuenta ciertas circunstancias especiales que facilitan la visión, en el caso en que no se pueda llegar a valores adecuados para la iluminación directa.

Los factores más principales que influyen las condiciones de visibilidad son los siguientes:

a) *Efectos de silueta.* — Un cuerpo débilmente iluminado puede distinguirse por contraste con el medio que lo rodea. Así muchas veces se ve un objeto lejano destacarse de manera clara, no debido a la luz que él refleja, sino por contraste con los planos más iluminados que él que lo rodean, sobre los que se destaca la *silueta* del objeto considerado.

Tal sucede en las ciudades, en las que por regla general las fachadas de las casas y los pavimentos de las calles, estos últimos por su color o por el pulimento debido al mucho tráfico, tienen un poder de reflexión relativamente elevado. Conviene, pues, estudiar en cada caso el *fondo* sobre el que los objetos han de destacarse, y en el caso en que resultase oscuro es indispensable aumentar el valor de la iluminación. Deberá en los cálculos tantearse el valor del brillo en los puntos más desfavorables, teniendo en cuenta los coeficientes de absorción y reflexión de pavimento y fachada.

b) *Efecto de las sombras.* — El resultado de los ensayos hechos para estudiar cómo las sombras favorecen la visión, ha demostrado que si los puntos luminosos están algo espaciados, los obstáculos (desigualdades del pavimento, piedras, etc.) iluminados con bastante oblicuidad, arrojan sombras muy visibles.

Tanto este efecto como el de silueta, si bien favorece la visión de los objetos en reposo, induce a errores de apreciación en los objetos en movimiento, sobre todo si el observador está también en movimiento y animado de velocidad relativamente elevada, como ocurre a los conductores de automóviles.

c) *Naturaleza del pavimento.* — Recordemos que la iluminación de una superficie y su brillo son cosas diferentes. El brillo depende además de la intensidad de la iluminación, del reparto de la luz y de los coeficientes de reflexión y absorción de la superficie iluminada, factores estos últimos que varían entre límites bastante extensos para superficies de distinta naturaleza, variando igualmente el brillo bajo condiciones constantes de iluminación.

Así, entre una calle adoquinada con granito y una asfaltada, puede haber diferencias del orden de 1 a 6, precisando un alumbrado seis veces más intenso en el segundo caso para obtener el mismo brillo.

Con relación a su poder de reflexión, puede establecerse una escala entre las diferentes clases de pavimentos, ocupando el primer puesto los de hormigón de cemento (color gris claro) y el último de todos los hechos a base de asfalto.

Cuando la superficie de la vía está húmeda o muy pulimentada, aumenta su poder de reflexión. Este efecto se hace aún más patente en tiempo de lluvia. Este pulimento tiende a uniformar el brillo luminoso, aun cuando la iluminación no sea muy uniforme, pues el brillo varía en una proporción mucho menor que la iluminación. Así, tenemos que para una calle con pavimento asfáltico la relación entre el brillo máximo y el mínimo es de 3,70, mientras la relación entre la iluminación máxima y la mínima es de 12,5. Estas mismas relaciones para la calle adoquinada tienen un valor de 3 y 6,40, respectivamente, y para el hormigón de cemento, de 1,3 y 8,3. La repartición del brillo es, pues, más uniforme que la de la iluminación; mientras ésta disminuye a medida que el punto considerado se aleja del pie de la lámpara y

los rayos luminosos inciden con mayor oblicuidad, el brillo, por el contrario, aumenta por aumentar la luz reflejada con la oblicuidad de los rayos luminosos; de aquí una compensación que ayuda en cierto grado a lograr la uniformidad de iluminación.

d) *Edificios.* — Conviene tener en cuenta la clase de edificaciones de la calle a iluminar, sobre todo desde el punto de vista de las cualidades de reflexión de sus fachadas.

e) *Arboles.* — Hay que tenerlos también muy en cuenta. Si son lo suficientemente altos para que su ramaje no estorbe a los focos luminosos, sólo se tendrá en cuenta para la colocación de estos focos el efecto de sombra de sus troncos. Pero si son bajos habrá que desplazar el alumbrado hasta el eje de la calle o colocar las lámparas completamente fuera de los árboles.

f) *Iluminación en diferentes planos.* — Con la iluminación de una calle se persiguen dos objetos: iluminar su superficie, e iluminar, igualmente, los peatones o vehículos que se desplacen sobre ella. El primer objeto (iluminación horizontal) se consigue con facilidad, ya que con débil intensidad se ponen de manifiesto las desigualdades del pavimento, obstáculos, etc., pudiendo llegar hasta valores de iluminación de 0,5 lux y 30 lúmenes por metro de anchura de calle.

Esta iluminación suficiente para poner de manifiesto las irregularidades del pavimento, no es bastante para permitir la visión rápida de los peatones y vehículos que se desplazan, y de ahí la necesidad de estudiar la iluminación en planos verticales hasta una altura equivalente, por lo menos, a la de la parte trasera de los automóviles. La adecuada iluminación de los planos verticales, se consigue mediante el empleo de las armaduras asimétricas, de que

después hablaremos, y su importancia puede deducirse del siguiente ejemplo:

Supongamos, figura 40, que empleamos una armadura cuya curva de distribución de intensidades sea la M . La ecuación que nos da la iluminación sobre un plano vertical de posición definida con relación al foco luminoso será:

$$E_v = \frac{I}{d^2} \text{ sen } \theta,$$

en la que E_v es la iluminación en lux, I la intensidad y d la distancia.

La iluminación aumentará con el valor de I y con el de $\text{sen } \theta$, valor este último que aumenta con la distancia. Vemos, por tanto, que con la distribución que proporciona la curva M , pudiéramos llegar a obtener una iluminación constante aproximadamente para distintas posiciones A , B , C , etc., de un plano vertical en movimiento, cosa imposible de lograr con una distribución de intensidades semejante a la que proporcionará la curva N .

Para obtener, por tanto, una buena iluminación en planos verticales, deben emplearse armaduras asimétricas, en las que la mayor parte de la luz se envíe en direcciones próximas a la horizontal.

g) *Distribución de la intensidad empleando armaduras asimétricas.*—Mediante una distribución asimétrica, conseguida con armaduras a base de refractores de vidrio prismático, cuya disposición después explicaremos, se mejoran notablemente las condiciones de visibilidad.

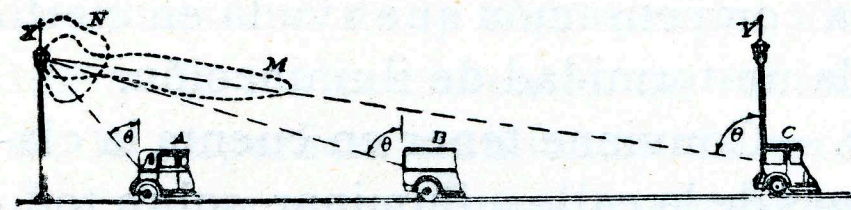


Fig. 40.

Insistiremos, ante todo, en que con el empleo de armaduras corrientes obtendremos áreas muy iluminadas al pie mismo de cada unidad de alumbrado,

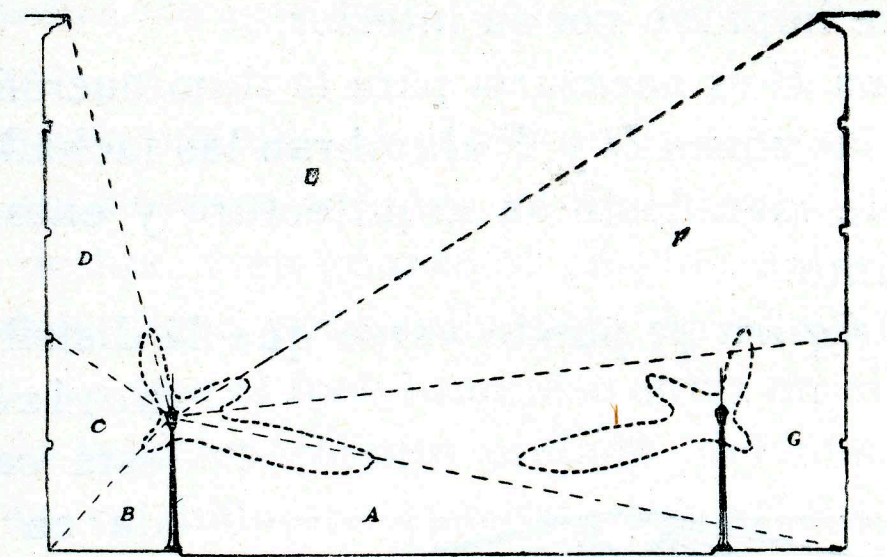


Fig. 41.

con zonas oscuras entre unidad y unidad y, por tanto, con efectos de deslumbramiento y de contrastes muy marcados.

Examinemos la figura 41, ejemplo de distribu-

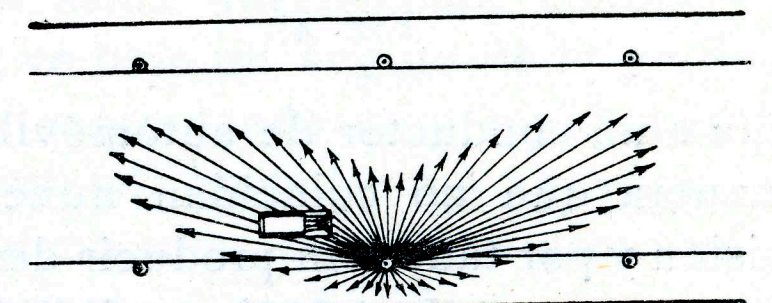


Fig. 42.

ción en una calle comercial, y la figura 42, que muestra esta distribución en proyección horizontal.

En la figura 30 puede verse que la mayor cantidad de luz se lanza en la zona A , zona verdaderamente útil. Tratándose de una calle comercial, las zonas t y g no precisan iluminación, es más, la iluminación de estas zonas sería perjudicial a causa de las interferencias que habrían de producirse con el alumbrado propio de los escaparates.

Estas interferencias pueden perjudicar por las siguientes causas:

Dstrucción del efecto artístico si se emplea en el escaparate luz de color.

Reducción del efecto de atracción del escaparate, debida a la gran intensidad del alumbrado exterior que anula los contrastes.

Producción de reflejos en la luna de los escaparates que impiden ver su interior.

La zona *B* es necesaria para la iluminación de la acera y las zonas *D* y *E* alumbran las fachadas poniendo de manifiesto su arquitectura y entonando el conjunto.

En la *figura 43* puede verse que la distribución

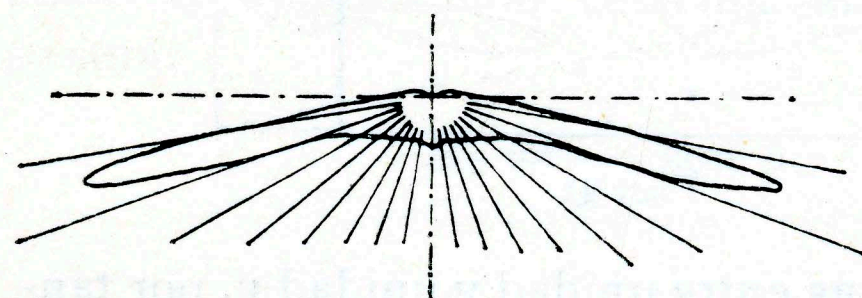


Fig. 43.

horizontal está calculada en forma que las líneas de máxima influencia lleguen en forma obli-

cua a un conductor de automóvil, por ejemplo, de manera que no coincidan nunca con su eje de visión y por tanto sin producir deslumbramiento.

Se comprenderá la imposibilidad de dar reglas fijas sobre la distribución asimétrica. Nuestro objeto es llamar la atención sobre este punto interesante, que debe ser estudiado en cada caso teniendo en cuenta sus especiales características.

h) Deslumbramiento.—En el alumbrado público los efectos del deslumbramiento son muy perjudiciales y difíciles de evitar, habiéndose sólo conseguido, con los elementos actuales, disminuirlo en un cierto grado.

Se disminuye el deslumbramiento por los procedimientos siguientes:

Reduciendo la intensidad luminosa y el brillo de cada unidad.

Aumentando la altura de suspensión, lo que equi-

vale a separar los focos del campo de visión directa.

Reduciendo el efecto de contraste, mediante iluminación de los fondos (fachadas de edificios, etcétera), sobre los que cada unidad de alumbrado se destaca.

El primer sistema se comprende a primera vista que es antieconómico, pues obliga a multiplicar los puntos de luz, y en cuanto al empleo del globo difusor, éste tiene poca influencia en el alumbrado público, ya que el foco luminoso entra en el campo visual lo suficientemente alejado del observador para que su diámetro aparente sea relativamente muy pequeño.

El segundo procedimiento está igualmente limitado por razones económicas y estéticas. El deslumbramiento se deja sentir fuertemente cuando el punto luminoso se ve bajo un ángulo de 15 grados con la horizontal, aumentando muy rápidamente cuando el foco desciende hasta los 6 ó 7 grados.

Según ensayos efectuados, si se toma como unidad de deslumbramiento el producido por un punto luminoso situado a 10 metros de altura, para un observador inmóvil, este efecto aumentará en la proporción de dos veces mayor para 6,50 metros de altura, tres veces mayor para 4,80 metros y 8,5 veces mayor para 3,6 metros de altura.

A los efectos del deslumbramiento, vemos, por tanto, que la altura de suspensión de los focos debe aumentarse en lo que sea posible.

En cuanto a evitar los contrastes mediante iluminación de fondos, se comprenderá la imposibilidad de tener en cuenta este factor al estudiar un proyecto, y únicamente la casualidad puede hacer que la iniciativa particular, mediante el empleo del *floodlighting*, alumbrado de escaparates, etc., con-

tribuya en algunos casos a aminorar el deslumbramiento.

2.º Clase y condiciones especiales de las vías e iluminación media conveniente. — Clasificación. —

Muchos son los factores que intervienen en la clasificación: la intensidad del tráfico, el número de comercios, el de los edificios públicos, etc., lo que hace difícil tener un punto de partida seguro, sobre todo cuando se trata de una nueva vía que se abre a la circulación. No sucede otro tanto cuando se trata, como es caso muy frecuente, de renovar el alumbrado de vías ya antiguas o bien de zonas de ensanche reformadas dentro del casco de la población.

Como base de un anteproyecto, se admiten, sin embargo, las clasificaciones siguientes:

Calles de gran anchura: Superiores a 20 metros entre alineaciones de fachadas.

Calles de anchura media: De 12 a 20 metros.

Calles de poca anchura: De menos de 12 metros.

Las iluminaciones recomendadas se consignan en el cuadro número XVIII.

CUADRO XVIII
ILUMINACIONES RECOMENDADAS PARA LA VÍA PÚBLICA

Categoría de la iluminación	Valor de la iluminación horizontal media	Naturaleza de las calles
Alumbrado normal....	0,5 a 1,25 lux....	Calles de poca o mediana anchura y escasa circulación.
Alumbrado reforzado.	2 a 3 lux.	Calles de gran anchura y poca circulación y de pequeña anchura con circulación media.
Alumbrado intenso...	5 a 7 lux.	Calles de gran anchura y circulación media, de anchura media y gran circulación o de poca anchura y circulación intensa.
Alumbrado muy intenso.	9 a 12 lux.	Calles de gran anchura y circulación intensa o de anchura media y circulación excepcional.
Iluminación ...	Más de 14 lux....	Calles excepcionales y plazas de circulación muy intensa.

En América del Norte la Comisión de alumbrado público de la Illuminating Engineering Society hace la siguiente clasificación de calles:

Calles esencialmente comerciales.

Calles de gran tráfico (más de 1.500 vehículos por hora, en ambas direcciones).

Calles de mediano tráfico (de 800 a 1.200 vehículos por hora, en ambas direcciones).

Calles de poco tráfico (menos de 500 vehículos por hora, en ambas direcciones).

Calles exclusivamente destinadas a la vivienda. Avenidas y parques.

Carreteras.

La iluminación recomendada y detalles de colocación se expresan en el cuadro XIX.

CUADRO XIX
CLASIFICACIÓN DE VÍAS E ILUMINACIÓN RECOMENDADA (SISTEMA AMERICANO)

POBLACIÓN	CLASE DE CALLE	Lúmenes por poste	Altura de los postes — Metros	Espaciamiento — Metros	COLOCACIÓN	Lúmenes por metro de anchura de calle
100.000 habitantes o más...	Comerciales de lujo.	10.000-50.000	4,20- 7,50	25- 45	Simétrica: ambos lados.	650-1.500
	Comerciales.....	10.000-25.000	4,20- 5,40	25- 35	— — —	350- 750
	Gran tráfico.....	6.000-15.000	6,00- 7,50	35- 75	— — —	100- 350
	Mediano tráfico.....	4.000-10.000	6,00- 7,50	35- 75	Alternativa: ambos lados...	25- 60
	Bulevares y parques.	2.500-10.000	4,20- 6,00	35- 75	Un solo lado.....	15- 60
	Residencias.....	2.500- 6.000	4,20- 6,00	35- 75	Alternativa: ambos lados...	15- 50
20.000 a 100.000 habitantes.....	Carreteras.....	2.500- 4.000	7,50-10,50	90-180	Centrales.....	15- 30
	Comerciales.....	10.000-22.500	4,20- 5,40	25- 35	Simétrica: ambos lados.	350- 750
	Gran tráfico.....	4.000-10.000	6,00- 7,50	35- 75	Alternativa: ambos lados...	25- 60
	Bulevares y parques.	2.500-10.000	4,20- 6,00	35- 75	Un solo lado.....	15- 60
5.000 a 20.000 habitantes.....	Residencias.....	2.500- 6.000	4,20- 6,00	35- 75	Alternativa: ambos lados...	15- 40
	Comerciales.....	6.000-15.000	4,20- 5,40	25- 35	Simétrica: ambos lados.	60- 350
	Gran tráfico.....	4.000-10.000	6,00- 7,50	35- 75	Alternativa: ambos lados...	25- 60
	Bulevares y parques.	2.500- 6.000	4,20- 5,40	35- 75	Un solo lado.....	15- 40
	Residencias.....	2.500- 4.000	4,20- 5,40	35- 75	— — —	15- 4

Las recomendaciones contenidas en los cuadros números XVIII y XIX deben ser consideradas como un *simple punto de partida*, sirviendo de orientación en la redacción de un proyecto, cuyos detalles han de acoplarse después a las circunstancias especiales de cada localidad.

Las indicaciones sobre intensidad deben considerarse como mínimas; cuando sea posible deben aumentarse, en la seguridad de que un aumento de luz nunca es un gasto en pura pérdida, ofreciendo siempre una contrapartida de beneficios muy superiores.

Como complemento de lo expuesto, puede consignarse:

En calles en que la densidad de tráfico aumenta, es indispensable aumentar la luz.

A igualdad de tráfico, la intensidad de iluminación debe aumentar proporcionalmente a la anchura de las calles.

En calles en que a determinadas horas la circulación de peatones aumenta excepcionalmente con relación a su clasificación, el alumbrado debe aumentarse.

En calles en que circulen autobuses de servicio público, la iluminación debe aumentarse proporcionalmente a la frecuencia del servicio.

Donde se permita el estacionamiento de vehículos, debe igualmente aumentarse la iluminación.

En las zonas próximas a los refugios de peatones debe aumentarse la iluminación.

3.º Aparatos empleados en el alumbrado público.
Si examinamos la curva de repartición de las intensidades luminosas de una lámpara desnuda, veremos que la mitad aproximadamente del flujo luminoso producido se emite sobre un plano horizontal que pase por el filamento de la lámpara. En

el caso del alumbrado público todo este flujo luminoso se pierde en absoluto, por lo que a simple vista puede notarse el grave error que se comete haciendo instalaciones, siquiera sea con carácter provisional, con simples lámparas sin aparato alguno.

Un aparato de alumbrado público necesitará ante todo recoger todo el flujo hemisférico superior y lanzarlo hacia los planos de utilización, y esta condición debe efectuarla del modo más exacto, ya que es indispensable para disminuir el número de focos aprovechar el flujo luminoso producido de la mejor manera posible. Esta condición exige igualmente que la curva de repartición de la intensidad luminosa sea tal, que los aparatos de alumbrado dispuestos en fila a lo largo de una calle proporcionen una iluminación del pavimento lo más uniforme posible. En una palabra: la luz debe ser bien aprovechada y bien dirigida.

Los aparatos destinados a este uso deberán tener, por tanto, una curva característica de distribución semejante a las de las figuras 43 y 44, con un alargamiento muy

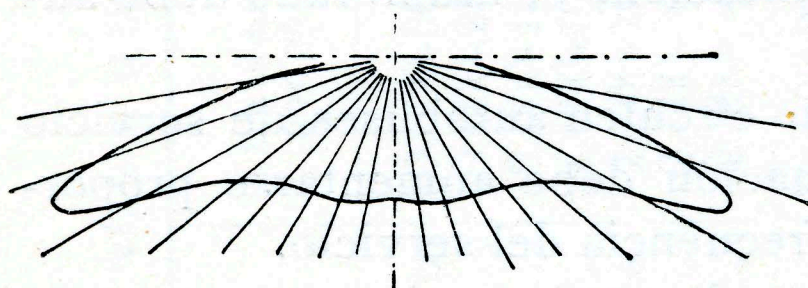


Fig. 44.

pronunciado entre los 65 y 75 grados con la vertical del centro del aparato. Necesita, además, un aparato de esta clase cumplir con algunos otros requisitos, como son buenas condiciones de resistencia a la intemperie, buenas condiciones de aislamiento eléctrico y fácil acceso a su interior para la limpieza y recambio de lámparas.

Atendiendo a la forma de repartición del flujo luminoso, se pueden dividir los aparatos en dos

grandes grupos: de distribución simétrica y de distribución asimétrica.

Dentro de cada uno de estos grupos tenemos aparatos *reflectores* y *refractores*, según el procedimiento que se emplee para repartir el flujo luminoso, y a su vez dentro de cada uno de estos subgrupos podemos considerar los aparatos de *tipo industrial* de costo reducido y los aparatos de carácter *ornamental* o *de lujo*.

El número de aparatos o armaduras para estos casos que existen hoy en el comercio es tan considerable, que saldría fuera de este lugar hacer siquiera una breve reseña de ellos, trabajo por otro lado completamente inútil, ya que las casas constructoras en sus catálogos y material de propaganda ofrecen cuantos datos sean precisos para juzgar y escoger el tipo de aparato adecuado al problema que ha de resolverse; nos limitaremos, por tanto, a exponer algunas ideas generales que puedan servir de orientación sobre el particular.

Distribución simétrica y asimétrica.—En la distribución simétrica, figura 45 (arriba en perspectiva y abajo en proyección horizontal), prácticamente la intensidad es la misma en todas las direcciones que forman un ángulo determinado con la vertical que pasa por el punto luminoso; los vectores representativos de la intensidad om , on , op y oq son, por tanto, iguales, y hay parte de luz que sale fuera de los límites de la calle, dibujados de trazos, y que, por tanto,

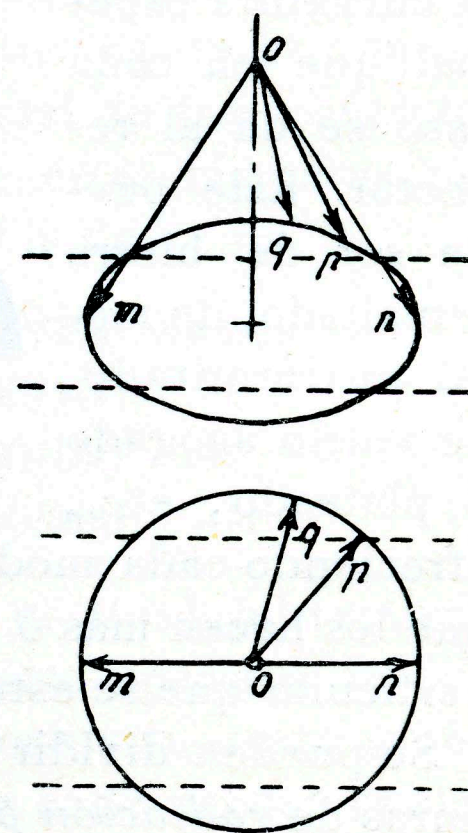


Fig. 45.

no se aprovecha. En la figura 46, por el contrario, los valores de la intensidad son distintos y combinados en forma que el efecto útil del flujo luminoso sea el máximo.

Tanto en unos aparatos como en otros es esencial la buena colocación y reglaje de la lámpara, pues estudiados para una determinada curva de distribución, al cambiar la posición del filamento la curva se modificará en mayor o menor proporción, pudiendo destruirse el efecto perseguido.

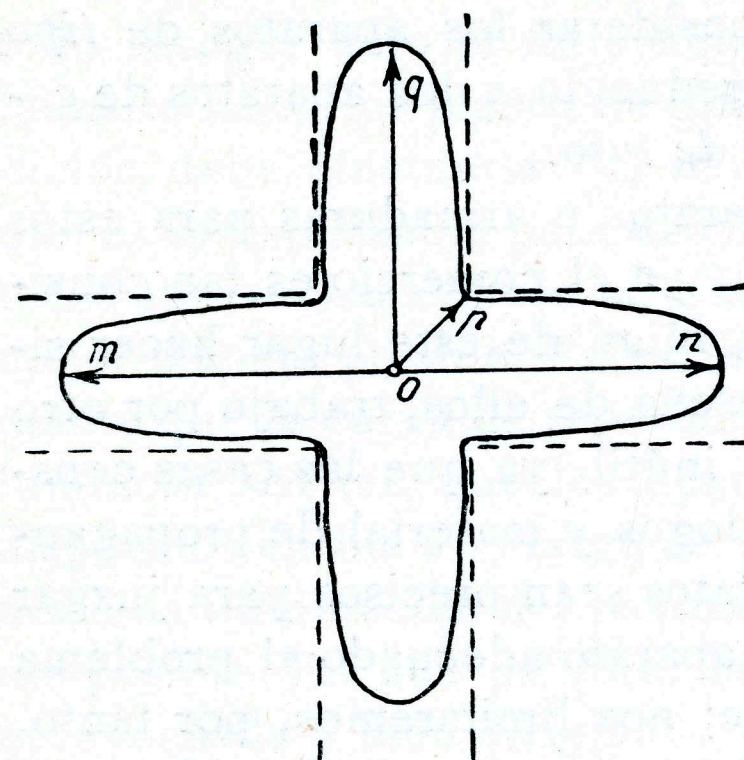


Fig. 46.

ellos la adecuada distribución se obtiene mediante la curvatura especial que en cada caso se da al reflector. Este puede ser de hierro esmaltado, de metal pulimentado, de vidrio azogado o plateado, etc., ofreciendo cada modelo ventajas e inconvenientes que los hacen más o menos adecuados para el caso particular que se estudie.

Se pueden dividir en dos grandes grupos: armaduras de *radiación profunda*, figura 47, en las que la lámpara va oculta por la armadura, lo que evita el

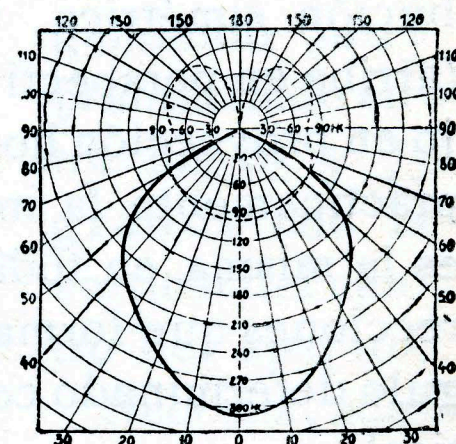
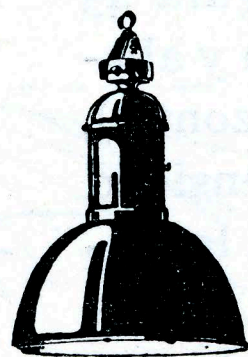


Fig. 47.

Aparatos reflectores. — En

deslumbramiento, pero el cono de luz proyectado es de ángulo muy cerrado, lo que limita el espacio iluminado, y armaduras de *radiación plana*, figura 48, en las que el ángulo del cono de proyección es abierto y, por tanto, mayor el espacio iluminado, pero produciendo deslumbramiento.

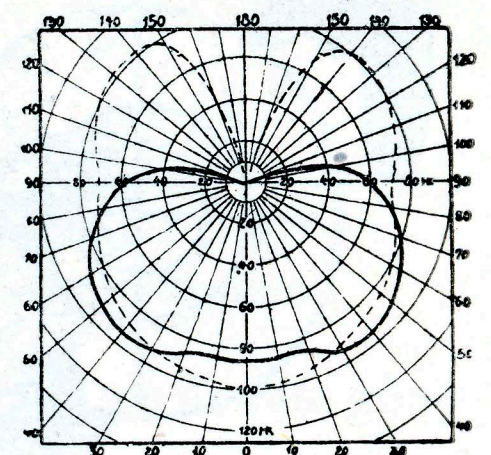
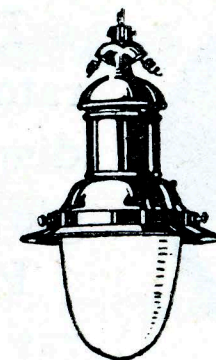


Fig. 48.

Existen aparatos de una, dos y hasta tres lámparas, lo que permite disponer en ellos de distintas intensidades, por si precisa disminuir el alumbrado desde una cierta hora de la noche. El empleo de estos aparatos múltiples es más conveniente que la práctica comúnmente seguida de apagar alternadamente los equipos, con lo que se destruye la uniformidad del alumbrado.

A este efecto también se emplean lámparas de dos filamentos, figura 49, con casquillo especial de tres contactos. La serie de estas lámparas más corriente es la de

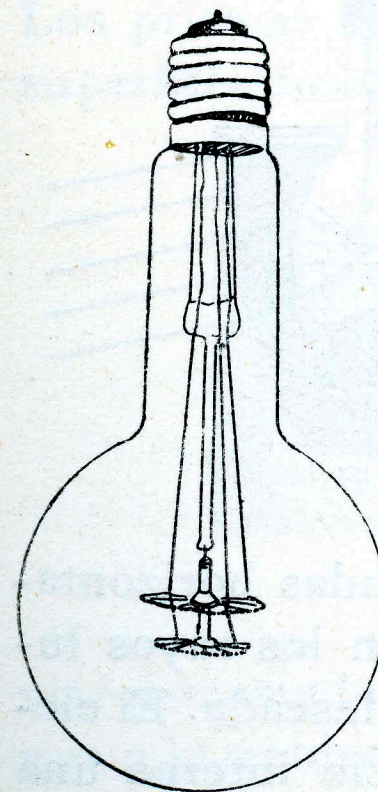


Fig. 49.

200/100 watios

300/100 —

500/150 —

750/200 —

Contra el deslumbramiento disponen estos aparatos de diferentes dispositivos, como globos esmerilados o de cristal opal, o bien simplemente cilindros de

cristal opal, abiertos por sus dos extremidades, lo que les da la ventaja de que el polvo no se almacena en su interior, como sucede con las armaduras

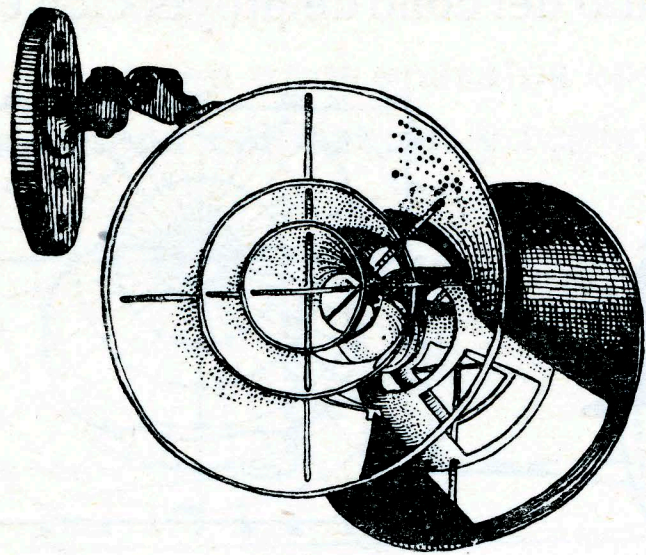


Fig. 50.

cerradas, siendo también más eficaz la ventilación. Todos estos aparatos deben llevar dispositivo para reglaje de la lámpara. Para las carreteras o vías poco frecuentadas en las que se desea disminuir al límite los puntos luminosos y emplear aparatos económicos, se emplean los análogos al que representa la *figura 50*, y produciendo una curva de repartición muy alargada, lo que permite un gran espaciamiento.

Aparatos refractores.—Según puede verse en las *figuras 51 y 52*, estos aparatos consisten esencialmente en dos elementos, de cristal prensado, dispuestos de modo que puedan adaptarse uno dentro del otro.

El elemento interior lleva su superficie interna lisa y en la externa una serie de prismas, dispuestos en bandas horizontales, calculados de forma que dirijan los rayos luminosos y los repartan en la forma deseada. El elemento exterior lleva en su superficie interna una serie de prismas dispuestos en zonas verticales,

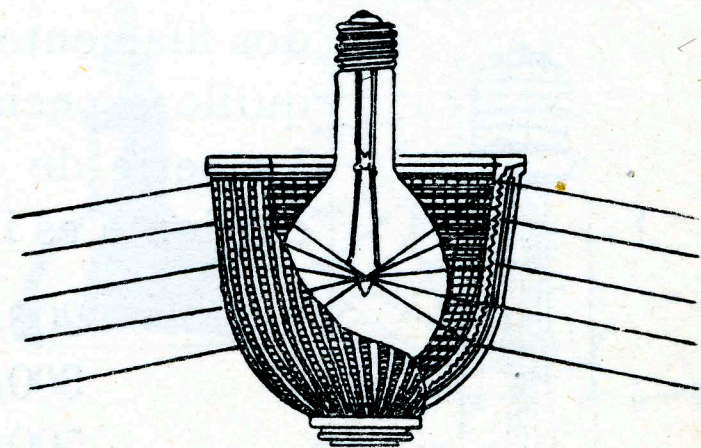


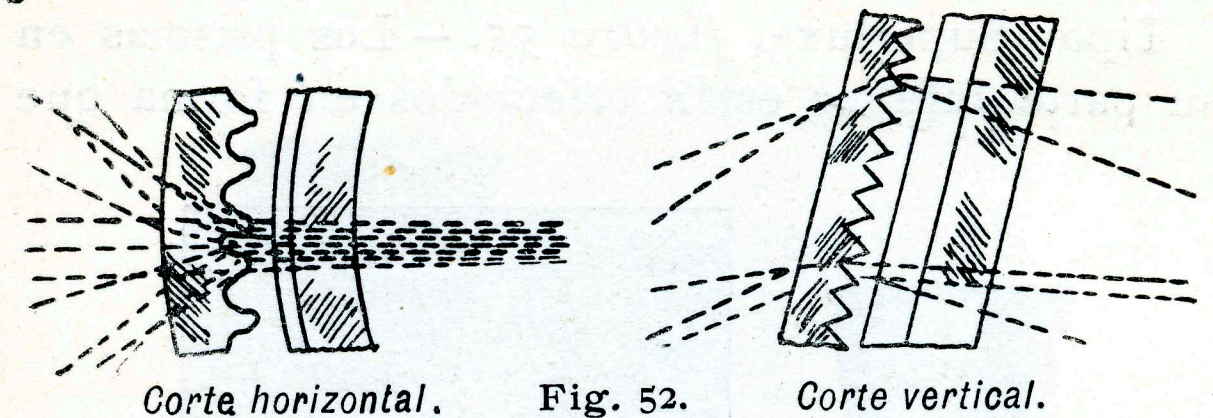
Fig. 51.

Para las carreteras o vías poco frecuentadas en las que se desea disminuir al límite los puntos luminosos y emplear aparatos económicos, se emplean los análogos al que representa la *figura 50*, y produciendo una curva de repartición muy alargada, lo que permite un gran espaciamiento.

Todos estos aparatos deben llevar dispositivo para reglaje de la lámpara. Para las carreteras o vías poco frecuentadas en las que se desea disminuir al límite los puntos luminosos y emplear aparatos económicos, se emplean los análogos al que representa la *figura 50*, y produciendo una curva de repartición muy alargada, lo que permite un gran espaciamiento.

Para las carreteras o vías poco frecuentadas en las que se desea disminuir al límite los puntos luminosos y emplear aparatos económicos, se emplean los análogos al que representa la *figura 50*, y produciendo una curva de repartición muy alargada, lo que permite un gran espaciamiento.

destinados a difundir la luz, y en su cara externa deben ser lisos para evitar la acumulación de polvo y suciedad en lo posible.



Corte horizontal.

Fig. 52.

Corte vertical.

Los tipos más corrientes de aparatos de este género son los siguientes:

Refractores simétricos.—Tipo normal, *figura 53*.

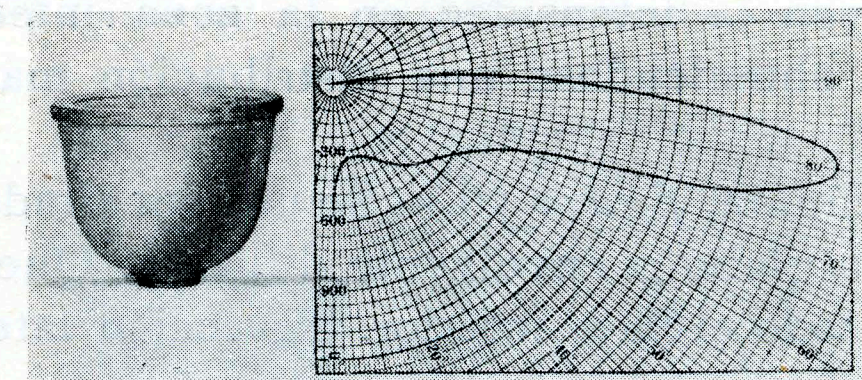


Fig. 53.

Los prismas horizontales se extienden en toda su superficie interior. Tiene el inconveniente de en-

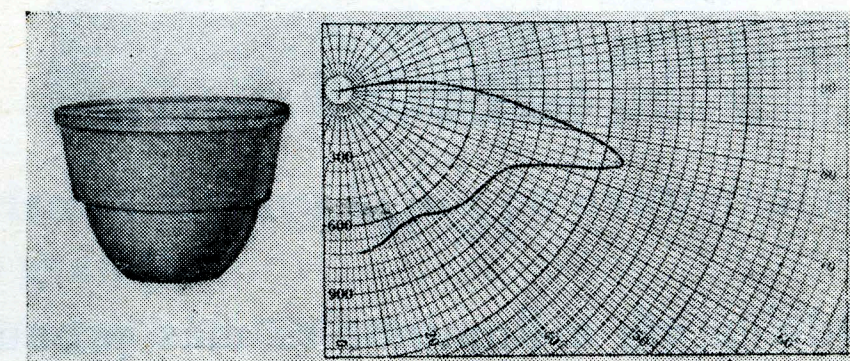


Fig. 54.

viar demasiada luz a la zona inmediatamente inferior a la unidad.

Tipo escalonado, *figura 54*.—Formado de una

banda con prismas en su parte superior y una zona inferior lisa, esmerilada. Su rendimiento es menor que en el tipo anterior.

Tipo «Superlux», *figura 55*. — Los prismas en su parte inferior están orientados en forma que

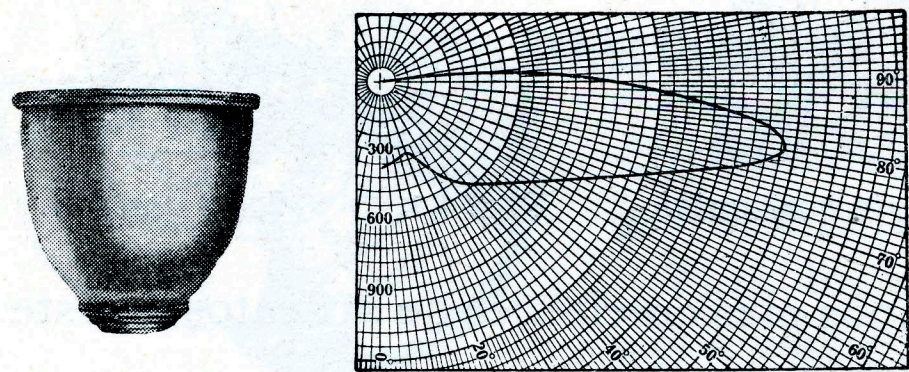


Fig. 55.

disminuyen la intensidad en la zona inferior al aparato, obteniéndose una distribución más uniforme.

Tipo cúpula, *figura 56*. — Se usa encerrado dentro de un globo o envoltente difusora. Queda sin recoger todo el flujo inferior. Su acción lateral, a

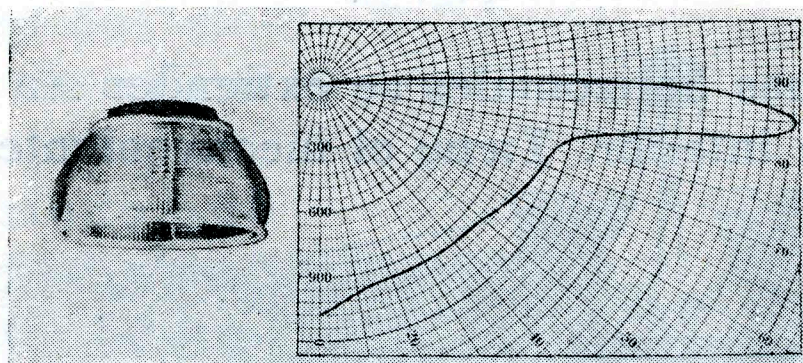


Fig. 56.

lo largo de la vía a iluminar es más pronunciada que en los tipos anteriores.

Existen otros tipos basados en los anteriores cuya descripción no nos parece indispensable.

Refractores asimétricos. — Tipo de dos direcciones, *figura 57*, propio para ser colocado en el cen-

tro de la calle, proporcionando dos anchas fajas luminosas paralelas al eje de la calle y a ambos lados de su emplazamiento.

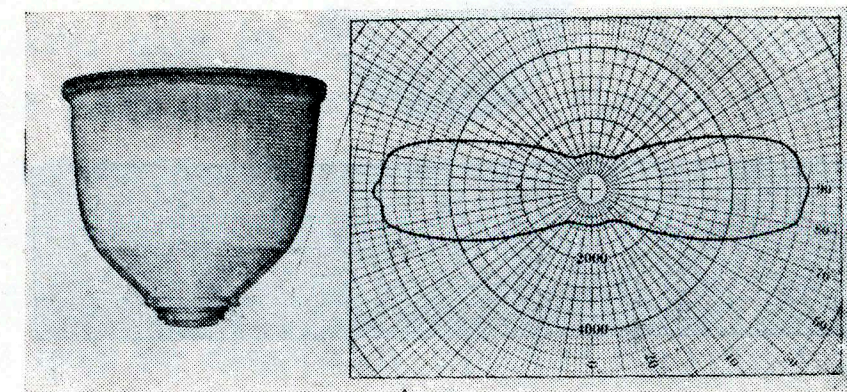


Fig. 57.

Tipo de cuatro direcciones, *figura 58*. — Para ser empleado en la intersección de cuatro calles.

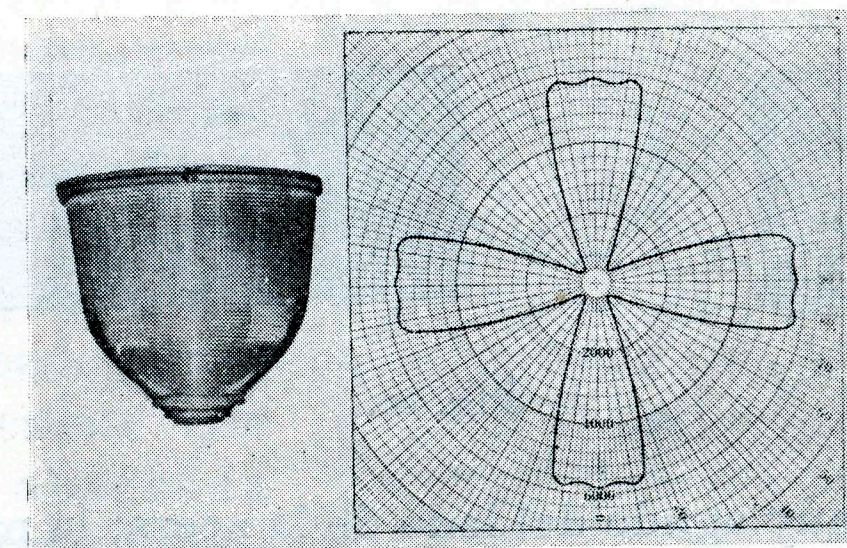


Fig. 58.

Los prismas dividen la luz en cuatro haces separados 90 grados.

Tipos para carreteras. — Los hay de forma cilíndrica y hemisférica; estos últimos, *figura 59*, son los más eficaces.

Tipo «Bi-Lux», *figura 60*. — Refractor cilíndrico empleado para equipos de carácter ornamental y el más adecuado actualmente para alumbrado públi-

co. Los máximos valores de la intensidad se encuentran en dos haces paralelos al eje de la calle a 75 grados de la vertical del centro del aparato. En

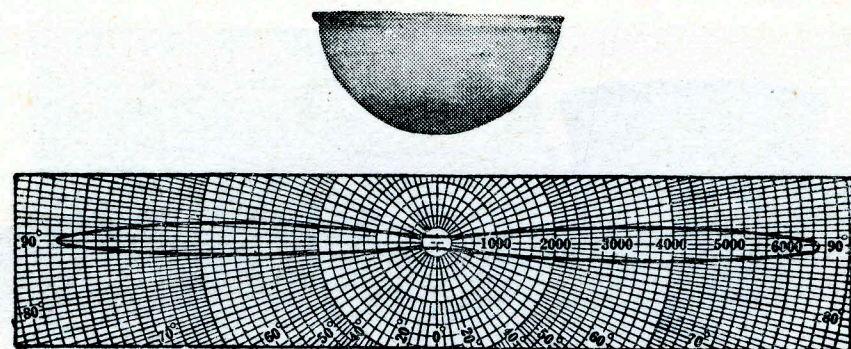


Fig. 59.

dirección transversal a la calle, la intensidad luminosa viene a valer $\frac{1}{4}$ del máximo de los haces principales y hacia el lado de los edificios es sólo $\frac{1}{8}$. Prismas especialmente orientados lanzan luz bajo

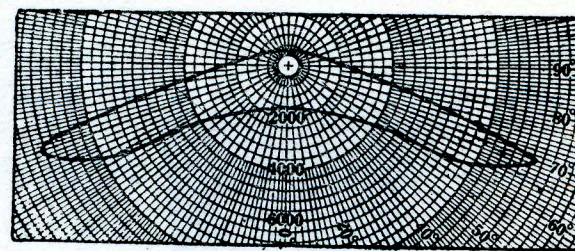
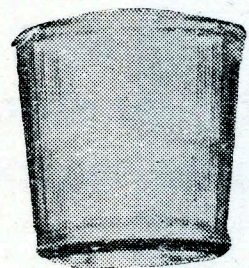


Fig. 60.

ángulo muy agudo del lado de la acera; la parte de luz correspondiente a la parte superior de la lámpara no recogida por los prismas, se limita a direcciones formando un ángulo máximo de 30 grados con la vertical; esta luz puede recogerse con un reflector colocado en el interior de la farola o dejarla salir al exterior para alumbrar las fachadas.

Curvas de distribución. — En capítulo III, página 43, indicamos la importancia de estas curvas, advirtiéndole que insistiríamos sobre ellas en diferentes lugares de esta obra. Al insistir en el presente capítulo sobre este particular, nos parece oportuno

hacerlo sobre algunas ideas ya expuestas, pero que conviene tener muy presentes.

La distribución de la luz procedente de todos los aparatos industriales no se efectúa de manera uniforme, sino que la densidad de flujo luminoso es diferente para diferentes direcciones radiando del punto luminoso. Estas diferencias proceden de la forma asimétrica de los filamentos modernos y de la forma de la bombilla o ampolla de la lámpara, sobre la que se efectúan efectos de reflexión interna, aun en el caso de ser de vidrio claro.

Las curvas de distribución indican la densidad del flujo en varias direcciones a la unidad de distancia del punto luminoso. Para determinar la cantidad de flujo total

emitido por el punto luminoso, precisa hacer la suma del flujo emitido en las distintas zonas (véase página 44), conviniendo tener muy presente que el área abarcada por la curva no tiene relación directa con la cantidad total de lúmenes emitidos. Así, por ejemplo, en la figura 61 tenemos tres curvas correspon-

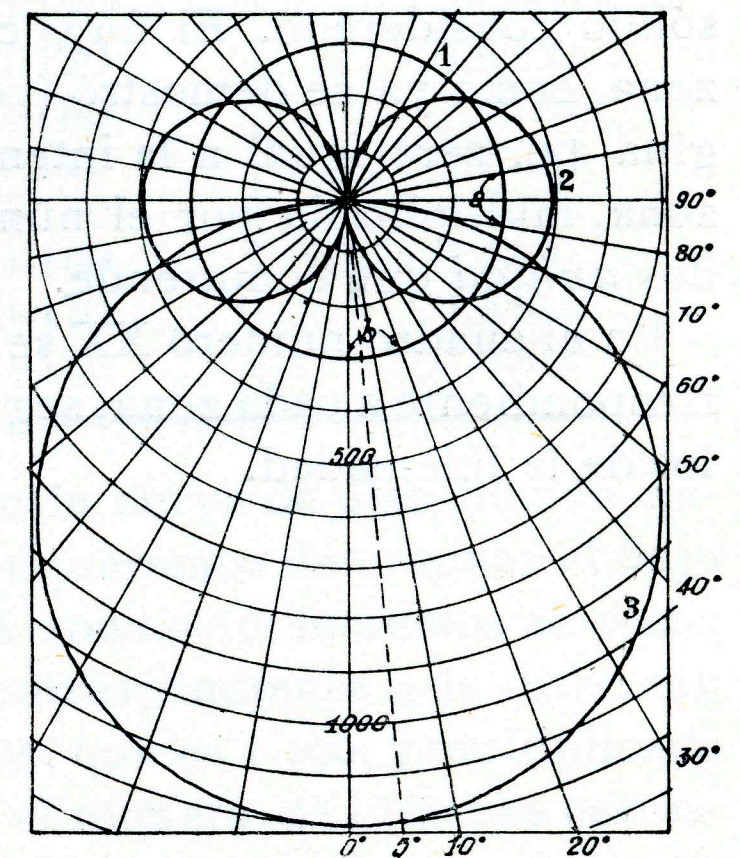


Fig. 61.

dientes a tres focos luminosos de igual cantidad de lúmenes, pero con distinta distribución. Fácilmente se comprende considerando en ellas dos secciones *a* y *b*, a las que corresponde la misma intensidad,

que si las hacemos girar alrededor del eje vertical, el área engendrada por a es mucho mayor que la engendrada por b , y, por tanto, la cantidad de *flujo* comprendido en a será varias veces mayor que la comprendida en b , no obstante la igualdad de sus intensidades.

Recordemos igualmente que un punto luminoso, cuya intensidad en todas direcciones sea de una bujía decimal, emite 4π ó 12,57 lúmenes y que habiendo 4π ángulos sólidos en una esfera de radio unidad, se emitirá *un lumen* en cada uno de estos ángulos sólidos. Inversamente: el número de lúmenes emitido por un punto luminoso a través de un ángulo sólido es igual a la intensidad media en todas direcciones dentro de los límites del ángulo sólido considerado. El flujo comprendido en cada zona, como ya se demostró (véase capítulo III, página 44), será igual a la intensidad media en esta zona, multiplicada por el número de ángulos sólidos *unidad* que comprende.

En el cuadro número XX se expresa el factor correspondiente a cada zona, según los distintos ángulos de la intensidad.

CUADRO XX

FACTORES CORRESPONDIENTES A DISTINTAS ZONAS

Ángulos — Grados	Zona — Grados	Factor
5	0-10	0,0954
15	10-20	0,2834
25	20-30	0,4630
35	30-40	0,6280
45	40-50	0,7740
55	50-60	0,8970
65	60-70	0,9920
75	70-80	1,0580
85	80-90	1,0910
95	90-100	1,0910
105	100-110	1,0580
115	110-120	0,9920
125	120-130	0,8970
135	130-140	0,7740
145	140-150	0,6280
155	150-160	0,4630
165	160-170	0,2834
175	170-180	0,0954

Si, por ejemplo, en la curva de distribución número 3 de la figura 6I queremos determinar el flujo correspondiente a la zona 0-10, leeremos en dicha curva la intensidad correspondiente a la dirección media, o sea, 5 grados, que es 1.190, y multiplicada por 0,0954 nos dará el número de lúmenes correspondiente. Para la zona 0-20 se multiplicará el valor de la intensidad correspondiente a la dirección 15 grados, que es 1.150, por el correspondiente factor 0,2834, y así sucesivamente hasta los 90 grados, sumando estos resultados parciales se obtendrá el flujo total correspondiente a la armadura en cuestión.

Un procedimiento abreviado para estas mediciones, se explica en la figura 62. En el borde de una cartulina *a*, se marca la escala correspondiente a las intensidades. Sirviéndose de esta escala como de una regla graduada, se mide la distancia entre el eje vertical de la curva y la intersección de ésta con la dirección media de la intensidad en la zona cuyo flujo se quiere determinar; a la lectura se agrega un 10 por 100 y tendremos los lúmenes correspondientes.

En el caso de la figura 62, referente a la zona 0-10, la lectura da $57 + 10\% = 62,7$ lúmenes. Calculando por el procedimiento primeramente explicado se hubieran obtenido 62,5 lúmenes.

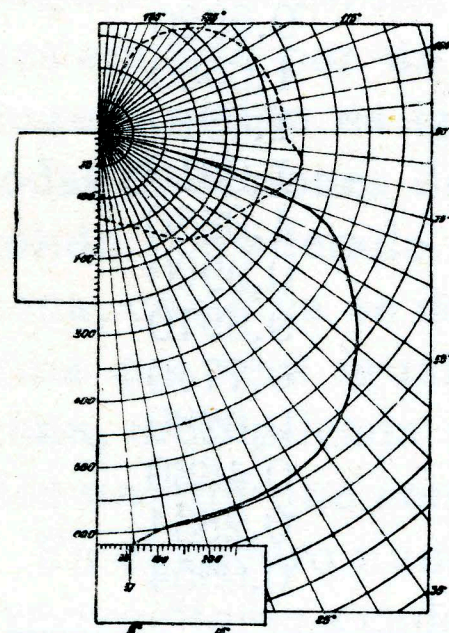


Fig. 62.

En las armaduras asimétricas, de que ya hemos hablado, no se puede representar por una sola curva trazada en un plano vertical la distribución de intensidades, ya que éstas varían con la dirección del plano vertical que se considere.

Los sistemas más generalmente adoptados para formar idea de la distribución son los siguientes:

a) Definir la armadura por tres curvas en diferentes planos verticales: uno que forma un ángulo de 20 a 22 grados con el eje de alineación de los aparatos; otro normal a esta alineación en dirección a los edificios, y otro normal, igualmente, a la alineación, pero dirigido perpendicularmente al eje de la calle. A estas curvas debe acompañar una de distribución horizontal tomada a la altura en que la intensidad luminosa es mayor, generalmente en-

tre los 65 y 70 grados, como ya se dijo. En la figura 63 pueden verse representadas estas curvas.

b) Estudio de las curvas *isolux* correspondientes a la iluminación obtenida sobre la superficie de la calle con la armadura en estudio colocada a una determinada altura.

Del trazado e importancia de las curvas *isolux* hablaremos en el lugar correspondiente.

c) Estudio del sólido fotométrico correspondiente a la armadura y del que igualmente nos ocuparemos más tarde.

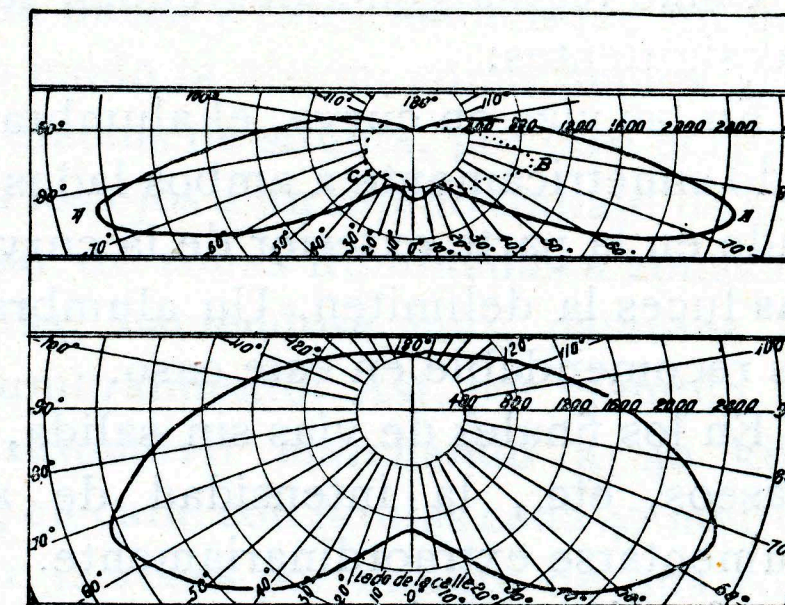


Fig. 63.

4.º **Colocación de los puntos luminosos.** — Las disposiciones que pueden adoptarse son las siguientes:

Distribución axial: Los focos se colocan en el eje de la calle. Adecuada para calles cuya anchura sea superior a 20 metros. En las calles estrechas suele usarse esta distribución con las armaduras suspendidas de un cable que atraviese la calle.

Distribución paralela simétrica: Aparatos a ambos lados de la calle y uno frente a otro. Los focos luminosos pueden quedar en la vertical de su soporte o avanzar hacia la calzada mediante brazos. Se emplea en calles anchas.

Distribución paralela alterna: Como la anterior, pero colocándose los focos de un lado frente al espacio comprendido entre dos focos del lado opuesto. Se emplea en calles estrechas y a veces puede

sustituírse la columna soporte por un brazo fijo a la pared.

Sistema mixto: Es combinación del sistema axial y cualquiera de los paralelos. Se emplea en vías de gran tráfico con alumbrado muy intenso.

Como reglas generales deben tenerse en cuenta las siguientes:

En las vías en curva, el alumbrado debe ir repartido simétricamente a ambos lados o sobre un solo lado en la parte exterior de la curva, de modo que las luces la delimiten. Un alumbrado alternado no es recomendable en este caso.

En los finales de vías sin salida, como finales de paseos, etc., la intensidad de alumbrado debe aumentarse extraordinariamente.

5.º Altura de los puntos luminosos sobre el pavimento.— Dependiendo de la anchura de la calle, del espaciamiento de los puntos luminosos, de la potencia de los mismos, etc., se comprende la imposibilidad de dar reglas fijas. Únicamente podemos decir que la altura en cuestión no debe ser inferior a 4,50 metros, a causa del deslumbramiento, a menos que éste quede evitado por dispositivos especiales. En los casos en que el espacio entre lámparas sea mayor de 50 metros, la altura de los puntos luminosos no debe ser inferior a 6 metros y esta misma altura se recomienda para equipos con lámparas de 500 ó más watios (8.000 lúmenes).

6.º Espaciamiento de los puntos luminosos.— Debe ser resultado del cálculo, y resultado, por tanto, de los datos del problema. Una relación entre el espaciamiento y la altura de los puntos luminosos de 8 a 1, es recomendable para la buena uniformidad en el reparto de la luz.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el espaciamiento influye en la mayor o menor uniformi-

dad de la iluminación, punto importantísimo que conviene estudiar con el mayor cuidado.

Coeficiente de uniformidad.— Es condición impuesta por la rapidez actual de la circulación. En las calles en que el alumbrado está mal distribuido, los contrastes son duros y esto, si bien por un lado facilita en cierto modo la visión, como hemos visto al hablar de los efectos de silueta, por otro perjudica, por obligar a los ojos a un rápido trabajo de acomodación al pasar de zonas iluminadas a zonas oscuras y viceversa, haciéndose muy patentes los efectos del deslumbramiento. Así, por ejemplo, un conductor de automóvil marchando a 40 kilómetros por hora, en calle con farolas cada 40 metros, tendrá que pasar 32 veces por minuto de una zona máxima de iluminación a una mínima y en estas condiciones la visión ha de ser forzosamente deficiente. Si para remediar este defecto, el conductor encendiese los faros de carretera, el peligro para el peatón, que sufre los efectos del deslumbramiento, es inminente.

La uniformidad de un sistema de alumbrado suele definirse por el coeficiente de *uniformidad*, o sea, la relación entre la iluminación máxima y la mínima:

$$U = \frac{E \text{ máx.}}{E \text{ mín.}}$$

Tiene esta definición el inconveniente de no hacer intervenir más que valores extremos; por tanto, pueden dos sistemas de alumbrado tener el mismo coeficiente de uniformidad y, sin embargo, tener distribuciones muy diferentes, siendo por tanto muy conveniente tener en cuenta los valores intermedios. A este efecto se pueden considerar las *diferencias* de iluminación y referirlas a la *iluminación*

media E_m . Si E es la iluminación de un punto, su diferencia de iluminación será: $E - E_m$. (1).

Dividiendo la superficie s , cuya iluminación se quiere medir, en cuadrados de superficie ΔS , en los que suponemos que la iluminación es constante, y refiriendo la diferencia para cada cuadrado a la superficie total, se tendrá la diferencia media, cuyo valor es:

$$D_m = \frac{\Sigma (E - E_m) \Delta S}{S},$$

y dividiendo esta diferencia media por la iluminación media, tendremos el valor de la diferencia relativa:

$$\frac{D_m}{E_m} = \frac{\Sigma (E - E_m) \Delta S}{E_m S}.$$

La expresión

$$U = 1 - \frac{D_m}{E_m} = 1 - \frac{\Sigma (E - E_m) \Delta S}{E_m S}$$

representará el *coeficiente de uniformidad de iluminación* de la superficie S , coeficiente que varía de 1 a 0. Si $E = E_m$, el coeficiente valdrá $U = 1$ y la distribución será uniforme.

El cálculo de los coeficientes de uniformidad sería complicado si se aplicase a toda la superficie iluminada, siendo lo más frecuente para darse cuenta de la distribución de la iluminación a lo largo de una zona estrecha de terreno, estudiar las iluminaciones sobre una línea que coincida en dirección con el eje de la zona. En la práctica se opera del siguiente modo:

La distancia comprendida entre dos puntos luminosos se divide en n partes iguales. Se calcula la

(1) Wetzel.

iluminación media E_m y se determina para cada una de las n divisiones la diferencia $E - E_m$. Se hace la suma de estas diferencias en valores absolutos y se divide por nE_m y se obtendrá la diferencia relativa media $\frac{D_m}{E_m}$ y, por tanto, el valor del coeficiente buscado U .

Variando el valor de U con la separación d de los aparatos y con su altura h , se puede trazar para h constante la curva de variación de U con relación a d , teniendo así trazada de una vez para siempre la curva característica de un aparato.

Fácilmente ha de comprenderse la imposibilidad de llegar a una uniformidad de iluminación aceptable empleando armaduras corrientes de distribución simétrica, ya que habría, o que emplear unidades poco potentes y muy próximas, o unidades mayores, pero de gran altura, procedimientos ambos poco económicos y que ofrecen bastantes inconvenientes. La solución puede encontrarse más sencillamente mediante el empleo de armaduras prismáticas asimétricas que dirigen la luz extendiendo la influencia de cada unidad en el sentido conveniente.

7.º Cálculos de iluminación. — Potencia de los focos luminosos. — Sabemos (véase capítulo III, página 38) que la iluminación en un punto de una superficie normal a la dirección del rayo luminoso tiene por expresión:

$$E = \frac{I}{d^2},$$

siendo I la intensidad en la dirección considerada y d la distancia del punto al foco luminoso. Si expresamos I en bujías internacionales y d en metros, E vendrá expresado en lux.

En el caso en que la superficie sea oblicua al rayo luminoso, caso el más frecuente, sabemos igualmente (véase figura 9) que la iluminación viene dada por la fórmula

$$E' = E \cos \alpha = \frac{I}{d^2} \cos \alpha,$$

siendo α el ángulo que forma la superficie oblicua con la normal al rayo luminoso, ángulo que es igual al que forma el rayo luminoso con la perpendicular a la superficie oblicua en el punto de incidencia.

Cálculo de la iluminación horizontal. — Si

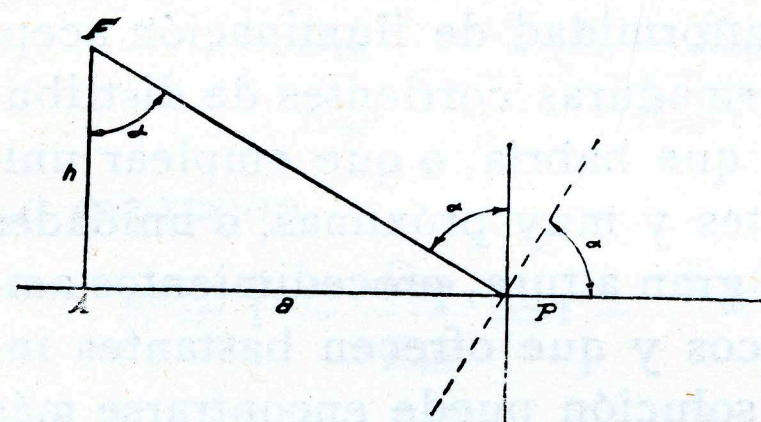


Fig. 64.

queremos calcular la iluminación horizontal producida por un foco F (figura 64) situado a una altura h sobre la calle en un punto P co-

locado a una distancia a del pie de la farola.

Aplicando la fórmula anterior:

$$E_n = \frac{I}{FP^2} \cos \alpha,$$

$$FP = \frac{FA}{\cos \alpha} = \frac{h}{\cos \alpha},$$

$$E_h = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha \quad [I].$$

Esta fórmula puede considerarse como fundamental y su aplicación nos permite calcular por puntos la iluminación horizontal de una superficie conocida, la posición y altura de los focos, la curva

fotométrica del aparato y la potencia de la lámpara empleada.

El valor de α puede determinarse gráficamente dibujando la figura correspondiente, o deducirse de la expresión $\tan \alpha = \frac{a}{h}$, pero lo más cómodo es usar las tablas y gráficos que insertamos a continuación, en los que el valor de $\cos \alpha$ y $\cos^3 \alpha$ viene calculado en función de la relación $\frac{a}{h}$.

El valor de I se deduce de la curva fotométrica del aparato conocido el valor de α . Para ello no hay más que ver el punto en que el rayo luminoso, cuya inclinación corresponde al valor α , corta a la curva, y leer en el eje vertical las bujías que corresponden a dicho punto. Así, en la figura 65, si $\alpha = 50$ grados, el valor de I sería 160. Las curvas, por regla general, vienen trazadas para lámparas de 1.000 lúmenes; si la lámpara de que se dispone es de distinto flujo, los valores que dé la curva deben ser modificados proporcionalmente en más o en menos. Si se trata, por ejemplo, de una lámpara de 2.500 lúmenes, habrá que multiplicar los resultados por 2,5, y así sucesivamente.

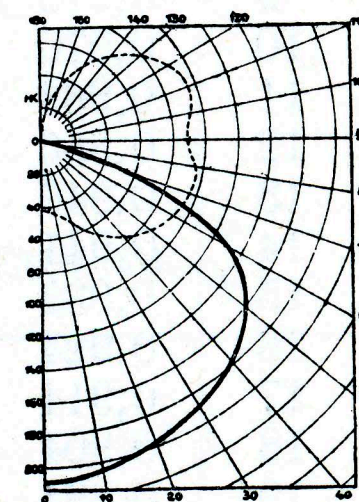


Fig. 65.

En el caso en que la lámpara venga determinada por su consumo en vatios, busquen en el cuadro número XIII (pág. 82) el número de lúmenes que le corresponde.

A continuación incluimos, de grado en grado, los valores de $\cos \alpha$ y $\cos^3 \alpha$, hasta los 84 grados, pues a partir de este valor, los cosenos cubos pueden despreciarse.

CUADRO XXI

COSENOS CUADRADOS Y COSENOS CUBOS DE LOS
ÁNGULOS COMPRENDIDOS ENTRE 0 Y 84 GRADOS

Ángu- los — Grados	Cosenos ²	Cosenos ³	Ángu- los — Grados	Cosenos ²	Cosenos ³
1	1,000	1,000	37	0,638	0,509
2	0,999	0,998	38	0,621	0,489
3	0,997	0,996	39	0,604	0,469
4	0,995	0,993	40	0,587	0,449
5	0,992	0,988	41	0,569	0,429
6	0,989	0,983	42	0,552	0,410
7	0,985	0,978	43	0,535	0,391
8	0,980	0,971	44	0,516	0,372
9	0,975	0,963	45	0,500	0,353
10	0,970	0,955	46	0,483	0,335
11	0,963	0,945	47	0,465	0,317
12	0,956	0,935	48	0,448	0,300
13	0,949	0,925	49	0,430	0,282
14	0,941	0,913	50	0,413	0,265
15	0,933	0,901	51	0,396	0,249
16	0,924	0,888	52	0,379	0,233
17	0,914	0,874	53	0,362	0,218
18	0,904	0,860	54	0,345	0,203
19	0,894	0,845	55	0,329	0,189
20	0,883	0,829	56	0,312	0,175
21	0,871	0,813	57	0,297	0,161
22	0,859	0,797	58	0,281	0,149
23	0,847	0,780	59	0,265	0,137
24	0,834	0,762	60	0,250	0,125
25	0,821	0,744	61	0,235	0,114
26	0,808	0,726	62	0,221	0,103
27	0,794	0,707	63	0,206	0,0936
28	0,780	0,688	64	0,192	0,0842
29	0,764	0,668	65	0,179	0,0754
30	0,750	0,649	66	0,165	0,0673
31	0,735	0,630	67	0,153	0,0596
32	0,719	0,610	68	0,140	0,0526
33	0,703	0,590	69	0,128	0,0460
34	0,687	0,570	70	0,117	0,0400
35	0,671	0,550	71	0,106	0,0345
36	0,654	0,529	72	0,955	0,0295

Ángu- los — Grados	Cosenos ²	Cosenos ³	Ángu- los — Grados	Cosenos ²	Cosenos ³
73	0,0855	0,0250	79	0,0363	0,00695
74	0,0759	0,0209	80	0,0300	0,00523
75	0,0669	0,0173	81	0,0244	0,00383
76	0,0585	0,0142	82	0,0194	0,00270
77	0,0506	0,0114	83	0,0149	0,00181
78	0,0432	0,0090	84	0,0109	0,00114

El cuadro XXII nos da los valores de α y $\cos^3 \alpha$
en función del valor de la relación $\frac{a}{h}$.

CUADRO XXII

VALORES DE α Y $\cos^3 \alpha$ EN FUNCIÓN DE $\frac{a}{h}$.

$\frac{a}{h}$	α aproximado	$\cos^3 \alpha$
0,5	26° 34'	0,716
0,75	36° 52'	0,512
1	45°	0,354
1,5	56° 19'	0,171
2	63° 26'	0,089
2,5	68° 12'	0,051
3	71° 34'	0,032
3,5	74° 03'	0,021
4	75° 58'	0,014
4,5	77° 28'	0,010
5	78° 41'	0,008

En las *figuras 66 y 67* tenemos las curvas representativas de los valores $\cos \alpha$ y $\cos^3 \alpha$ en función también del valor $\frac{a}{h}$. Si este valor es superior a 5 se toman los valores correspondientes a 5.

El valor de h se suele tomar hasta el *plano de*

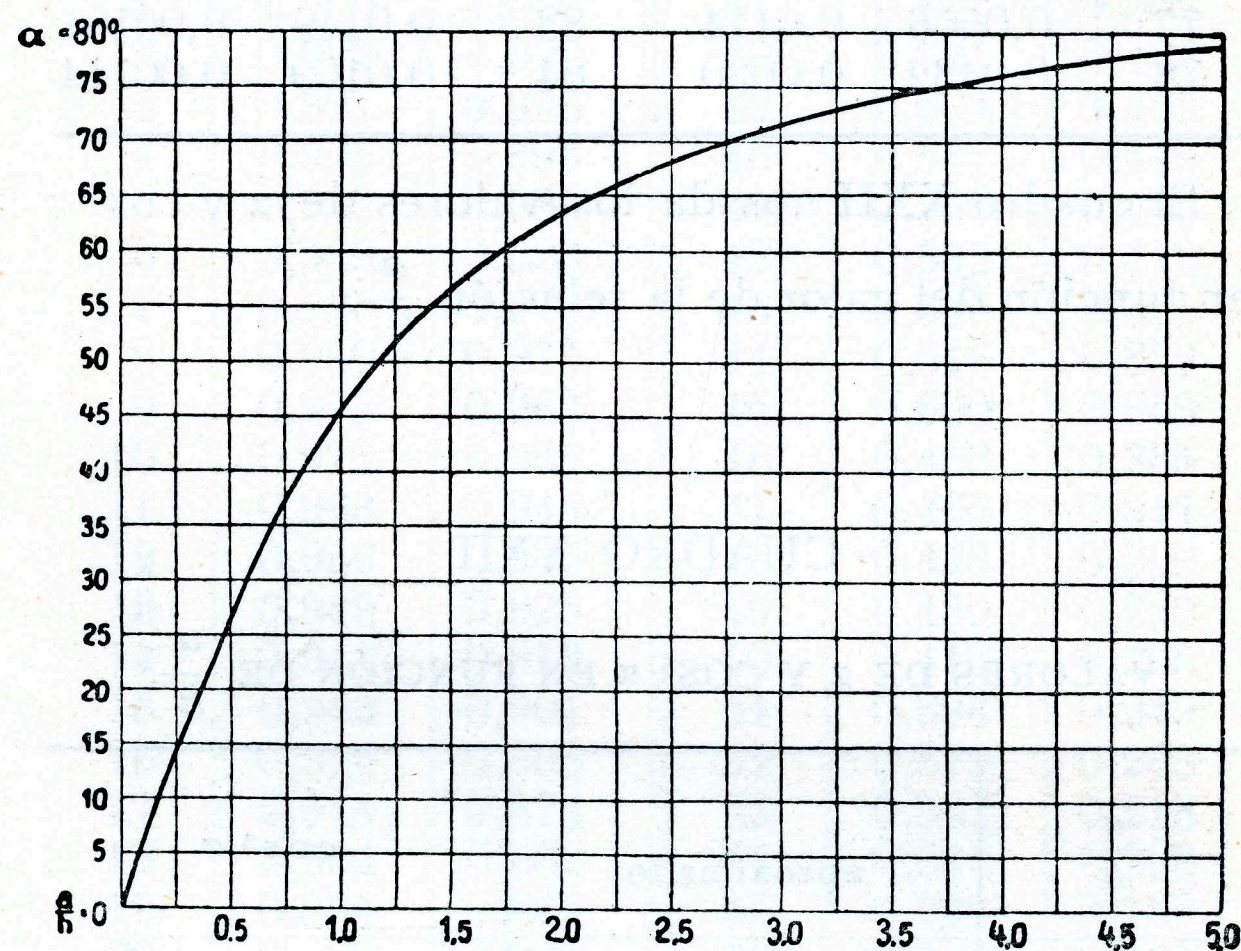


Fig. 66.

utilización que se supone colocado a un metro sobre el suelo.

Cálculo de la iluminación vertical. — Cuando se calcula la iluminación sobre un plano horizontal, el valor h que designa la altura del punto luminoso sobre el plano es constante, y en el caso de tratarse de un plano vertical este valor es variable.

Supongamos que se trata de calcular la iluminación producida en un punto P , perteneciente

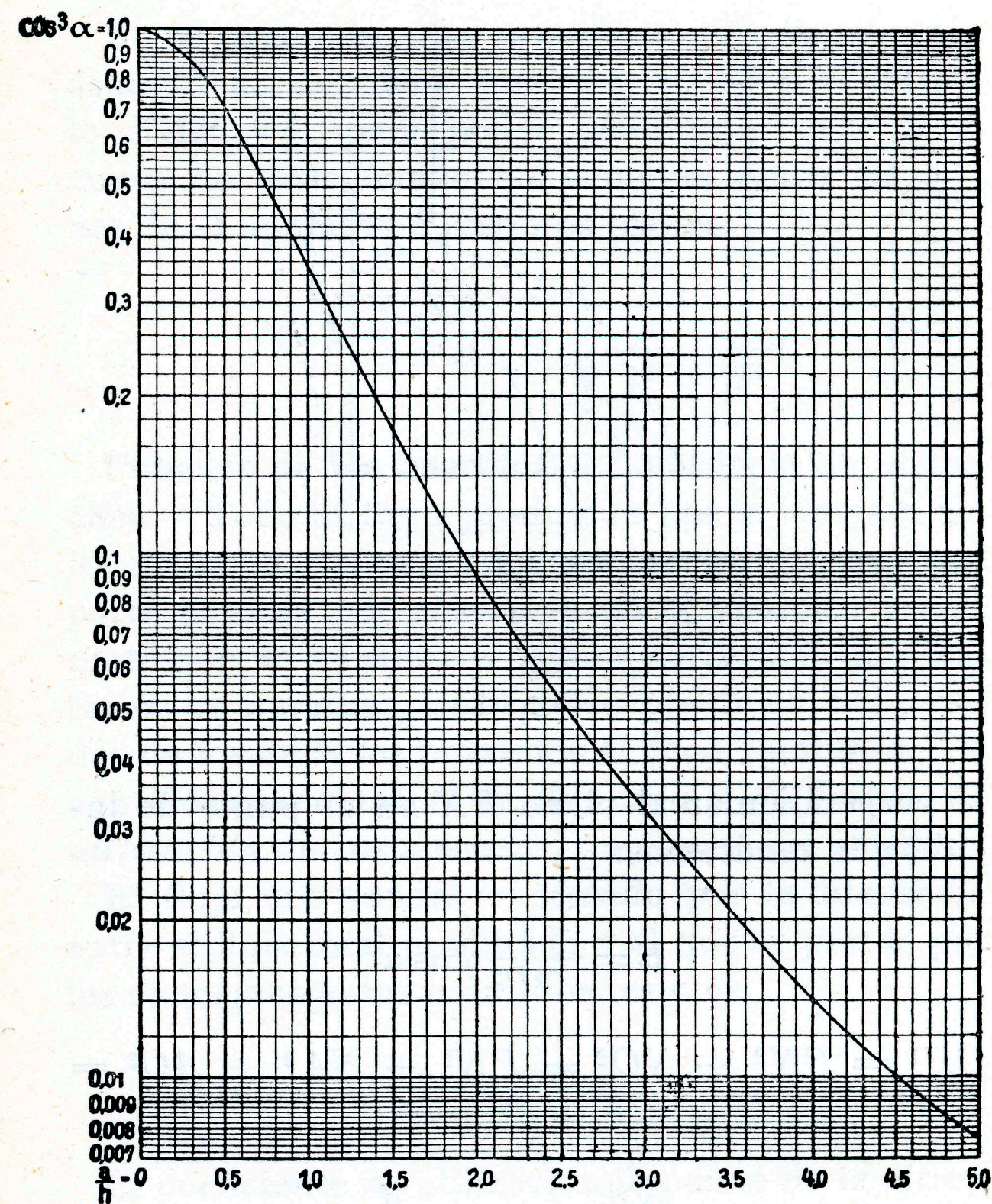


Fig. 67.

al plano vertical $BCDE$, por un foco situado en O , figura 68.

Siendo α el ángulo del rayo luminoso OP con

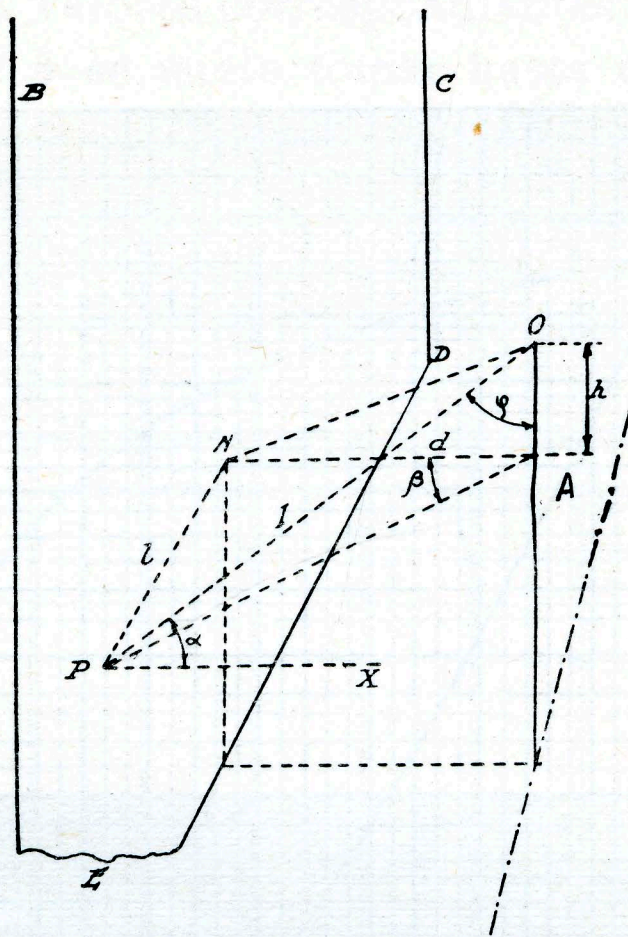


Fig. 68.

la perpendicular al plano PX en el punto de incidencia, tendremos:

$$E = \frac{I}{OP^2} \cos \alpha$$

$$OP^2 = PN^2 + NO^2 = PN^2 + NA^2 + AO^2 = l^2 + d^2 + h^2,$$

$$\cos \alpha = \frac{NA}{OP} = \frac{d}{\sqrt{l^2 + d^2 + h^2}},$$

$$E = \frac{Id}{\sqrt{l^2 + d^2 + h^2}} \times \frac{I}{l^2 + d^2 + h^2} = \frac{Id}{(l^2 + d^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Para determinar el valor de I precisa conocer el valor del ángulo y del rayo luminoso con la vertical:

$$\cos \varphi = \frac{OA}{OP} = \frac{h}{\sqrt{l^2 + h^2 + d^2}} \quad [a].$$

Si se trata de una armadura de distribución asimétrica, debemos también conocer el ángulo $NAP = \beta$, para poder determinar cuál es la curva de distribución conveniente entre las que nos da el aparato en distintos planos:

$$\cos \beta = \frac{NA}{PA} = \frac{d}{\sqrt{l^2 + d^2}} \quad [b].$$

Potencia de los aparatos. — Coeficiente de utilización. — Todo el flujo producido por la lámpara colocada en un aparato no tiene efecto útil; hay una parte perdida por absorción en el aparato, y otra parte que no va sobre el plano horizontal que tratamos de iluminar, sino que se pierde en las paredes de los edificios próximos al foco luminoso. De aquí dos conceptos, el de *flujo útil* y *coeficiente de utilización* de los aparatos, que conviene explicar.

El flujo útil vendrá expresado por la diferencia entre el flujo total producido y el que se pierde por los conceptos antes indicados, esto es:

$$F_u = F - F'.$$

El coeficiente de utilización depende de la altura del punto luminoso h sobre el plano a iluminar y de la anchura de la calle, o bien de la distancia entre el foco luminoso y la línea de muros más próxima.

Según lo expuesto, podremos consignar el valor

de la iluminación media de una superficie S del siguiente modo:

$$E_m = K \frac{F}{S} = \frac{F_u}{S},$$

siendo $K = \frac{F_u}{F}$ el coeficiente de utilización.

De la fórmula anterior se deduce:

$$F = \frac{E_m \times S}{K} \quad [2].$$

El valor de K puede considerarse que oscila entre 0,20 y 0,60 por 100. Corresponden los valores mínimos a calles muy estrechas o aparatos colocados muy cerca de la pared y los máximos al caso opuesto, con aparatos no muy elevados sobre el suelo, o a aparatos refractores de *luz dirigida* (distribución asimétrica).

Generalmente las casas constructoras tienen establecidas las curvas especiales de cada uno de sus aparatos, mediante las cuales se determina el valor del coeficiente de utilización, para una colocación determinada de los focos luminosos en función de la relación entre el ancho de la calle y la altura del foco. Estas curvas deben ser siempre consultadas y exigidas a las casas vendedoras cuando se trate de un estudio de gran importancia.

La fórmula [2] nos permite determinar la potencia por foco y *número de los necesarios para obtener una iluminación dada*.

Si suponemos, por ejemplo, una calle de 15 metros de anchura, en la que deseamos obtener una iluminación de 4 lux, el *flujo útil* que necesitará recibir la calle por metro de anchura será de $4 \times 15 = 60$ lúmenes. Si el coeficiente de utiliza-

ción es de 0,30, tendremos el flujo total por metro de anchura igual a $\frac{60}{0,3} = 200$ lúmenes. Si empleamos lámparas de 500 watios, aproximadamente 10.000 lúmenes, el espaciamiento entre ellas deberá ser

$$\frac{10.000}{200} = 50 \text{ metros.}$$

En los aparatos de distribución simétrica (aparatos con un eje de revolución vertical) se puede calcular directamente el flujo útil, y, por tanto, la iluminación media arrojada sobre una superficie, partiendo de la curva fotométrica, de la que se deduce el flujo producido en las diferentes zonas por el procedimiento ya explicado (pág. 124) y calculando el coeficiente de utilización correspondiente a cada una de las zonas. El flujo útil será la suma de los productos de cada flujo zonal por su factor correspondiente.

El coeficiente de utilización se calcula en función de la posición del aparato, por medio de fórmula bastante complicada, y el procedimiento en general es pesado y laborioso. En la práctica lo que debe hacerse es pedir de la casa vendedora la curva correspondiente, como antes indicamos.

Armaduras asimétricas. — El cálculo directo de la iluminación media para aparatos asimétricos, conduce a cálculos largos y engorrosos, de cuya explicación prescindimos.

En la práctica, o se calcula la iluminación media partiendo de las curvas de iluminación, o de las *isolux*, en la forma que después explicaremos, o se calcula por *puntos*, partiendo, para obtener el valor de I , bien de curvas de distribución de intensidad tomadas en distintos planos verticales, o del *sólido fotométrico* de la armadura en estudio.

En el sólido fotométrico, *figura 69*, van marcadas las curvas de *igual intensidad (isocandle)*.

Mediante las fórmulas [a] y [b] de la página 141 se puede *situar* el rayo luminoso que nos interesa *OP*, *figura 68*, en el interior del sólido fotométrico, determinando la curva de intensidad que dicho

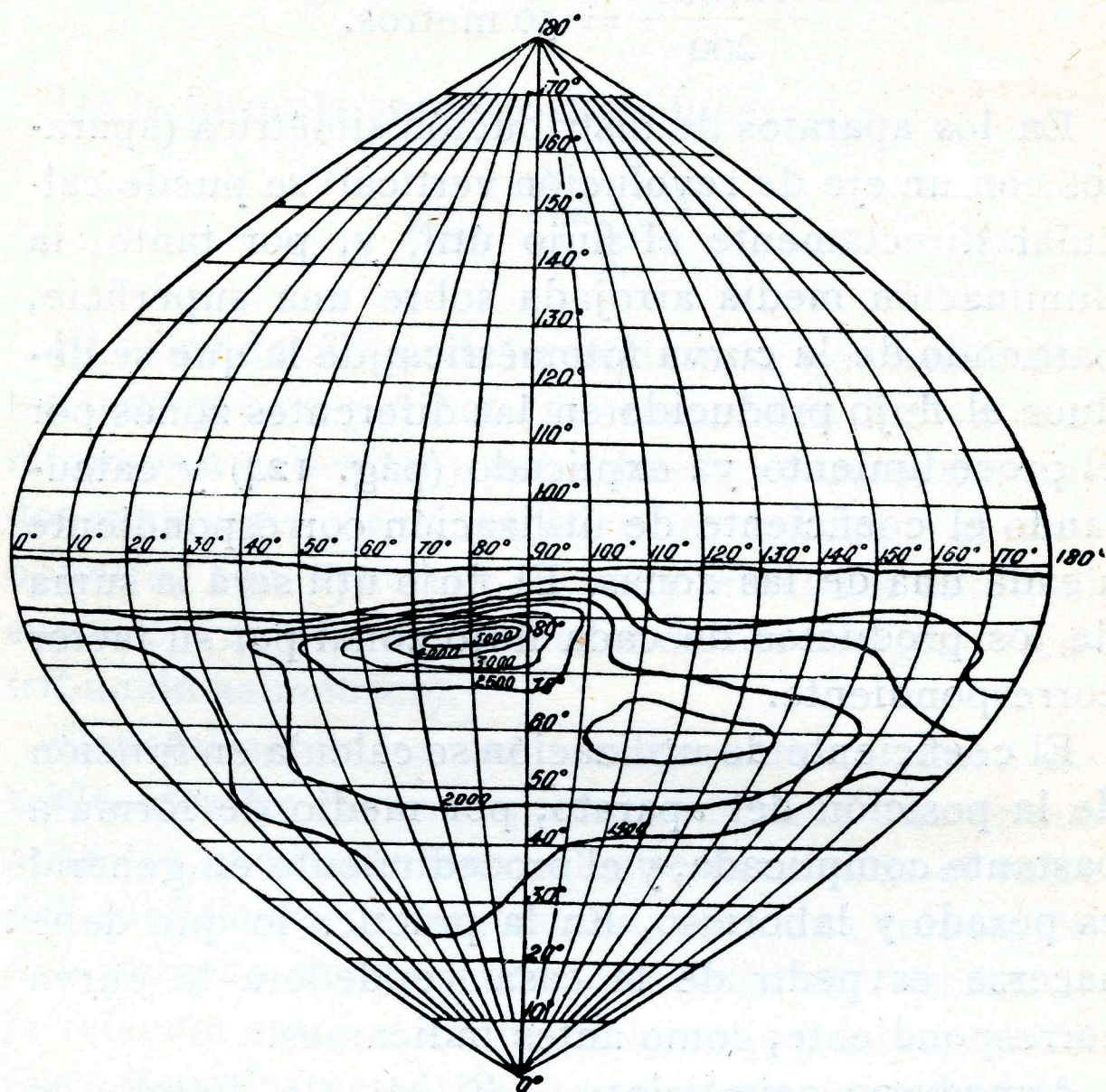


Fig. 69.

rayo cortaría, y que nos dará el valor de I , para el punto cuya iluminación se desea calcular. Mediante sustitución en la fórmula [1], página 134, cuyo ángulo α es igual al φ del caso presente, tendremos el valor de E que se busca.

Curvas de iluminación. — Para tener una idea clara de la variación de la iluminación sobre el pavimento de una calle y en una dirección determinada,

se pueden trazar las llamadas curvas de iluminación, tomando como abscisas las distancias al foco luminoso y como ordenadas la iluminación, previamente calculada, correspondiente a cada punto.

Obtendremos así curvas semejantes a la *figura 70*, en la que puede notarse lo rápidamente que

disminuye la iluminación a una cierta distancia del foco luminoso, debido de una parte al alejamiento de los puntos y de

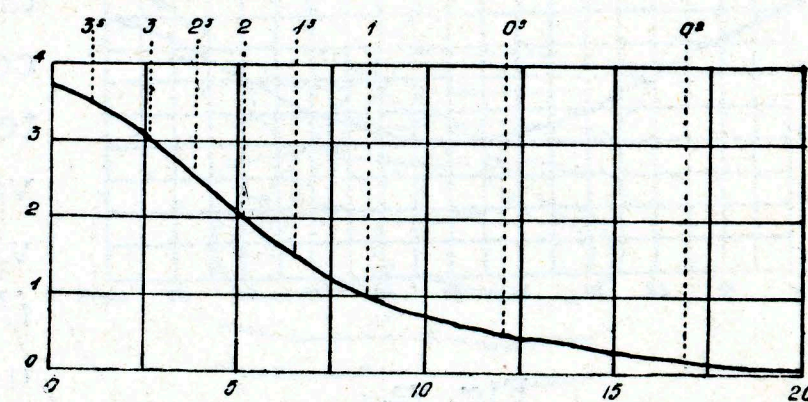


Fig. 70

otra a la oblicuidad cada vez mayor de los rayos incidentes.

Si en vez de un solo foco se tratase de varios, no hay más que hacer en cada punto la suma de ordenadas correspondientes. La *figura 71*, por ejemplo, muestra una curva resultado de sumar

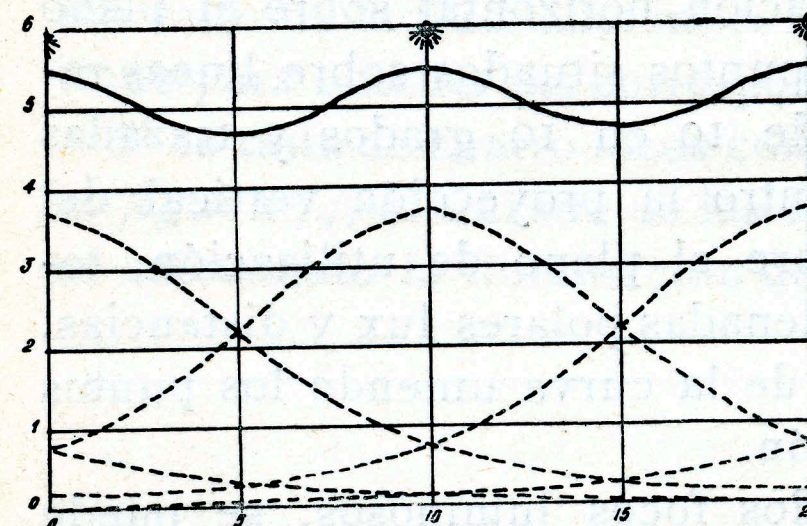


Fig. 71.

las correspondientes a cinco focos distintos.

Del estudio de estas curvas se puede deducir cómo el *coeficiente de uniformidad*, tal como comúnmente se

define (iluminación máxima dividida por iluminación mínima), puede conducir a errores al apreciar la forma de distribución de un alumbrado. Así, en las curvas de iluminación de la *figura 72* pueden

verse dos curvas cuyos valores de iluminación máximo y mínimo son iguales, dando, sin embargo, una distribución bastante diferente.

Curvas isolux. — De la misma manera que un plano topográfico con curvas de nivel da idea, a un

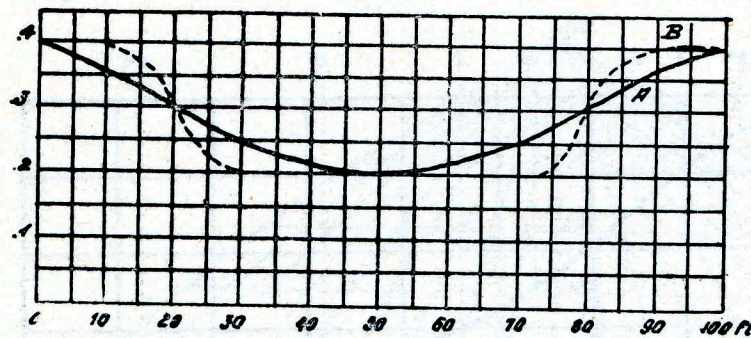


Fig. 72.

solo golpe de vista, del relieve y configuración del terreno, las curvas *isolux* o curvas de *igual iluminación*, dan una idea exacta y rápida de la

forma en que la iluminación se reparte sobre un plano de utilización dado.

Hay dos clases de curvas *isolux*: las que indican la iluminación obtenida con una sola unidad y las que corresponden a un sistema completo de iluminación; el procedimiento para su trazado es distinto.

En el caso de una sola unidad, no hay más que calcular la iluminación horizontal sobre el plano de utilización, en puntos situados sobre líneas radiales separadas de 10 en 10 grados y trazadas tomando como centro la proyección vertical del foco luminoso sobre el plano de utilización, tomando como coordenadas polares lux y distancias, se hace el trazado de la curva uniendo los puntos de igual iluminación.

Si se trata de dos focos luminosos, se puede seguir un procedimiento rápido. Se trazan sobre dos tiras de cartulina las escalas correspondientes a las iluminaciones de diferentes puntos, teniendo en cuenta un solo foco. Estas escalas pueden deducirse de la curva de iluminación correspondiente al aparato en cuestión. Se sujetan las dos escalas

sobre el papel de dibujo, centrándolas en los puntos que representan los dos focos y de modo que puedan pasar alrededor de estos puntos tal como se muestra en la

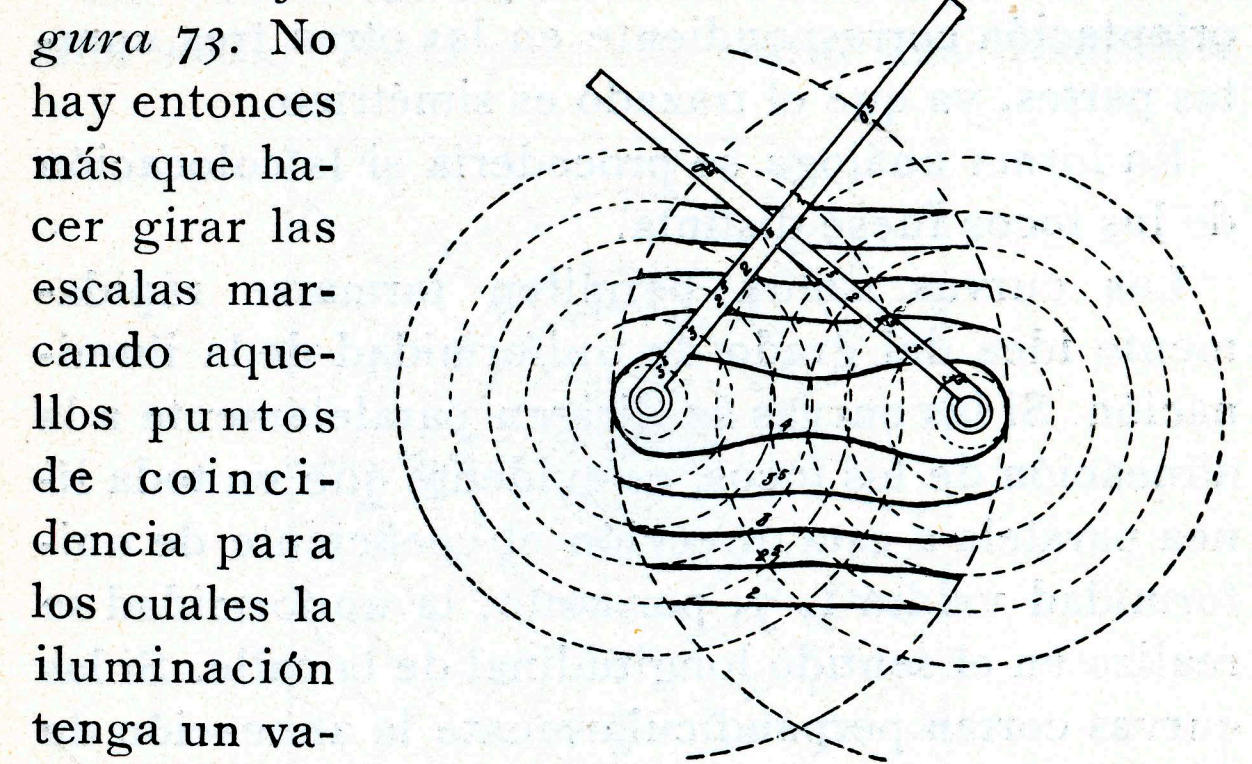


Fig. 73.

figura 73. No hay entonces más que hacer girar las escalas marcando aquellos puntos de coincidencia para los cuales la iluminación tenga un valor determinado; así,

para la curva correspondiente a los 3 lux, se marcarán los puntos $0,5 + 2,5$, $1 + 2$, $1,5 + 1,5$, etcétera. Los puntos así marcados, correspondientes a un mismo valor de la iluminación, se unen con trazo continuo para obtener las correspondientes curvas.

Si se trata de cuatro focos colocados según indica la figura 74, el trazado de las curvas puede hacerse calculando la iluminación de los puntos corres-

pondientes a los vértices de una cuadrícula de 3 a 5 metros de lado establecida en el espacio que limitan los cuatro focos.

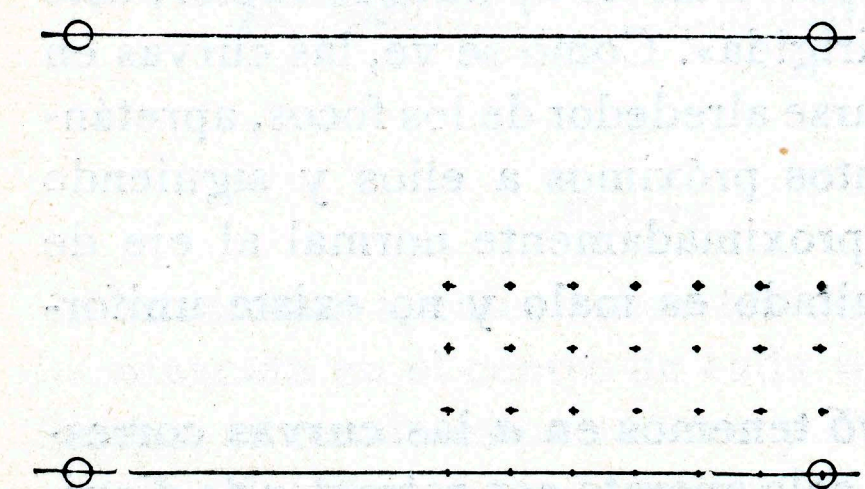


Fig. 74.

En realidad, como indica la figura, basta hacer el trazado en la cuarta parte del espacio limitado por los focos, y una vez dibujadas las curvas en esta cuarta parte, calcarlas y repetirlas con la orientación correspondiente en las otras tres cuartas partes, ya que el trazado es simétrico.

En forma análoga se procedería si la colocación de los focos fuese distinta.

Las curvas isolux permiten formarse rápidamente idea del grado de uniformidad de la iluminación. Si las curvas se dirigen paralelamente a la alineación de los focos, es evidente que en toda línea paralela a esta dirección el coeficiente de uniformidad valdrá 1, y, por tanto, la uniformidad se realiza en el sentido longitudinal de la calle. Si las curvas cortan perpendicularmente la alineación de focos, la uniformidad se obtendrá según líneas perpendiculares al eje de la calle, lo que no ofrece gran interés, ya que el trabajo se efectúa a lo largo de la calle y no transversalmente.

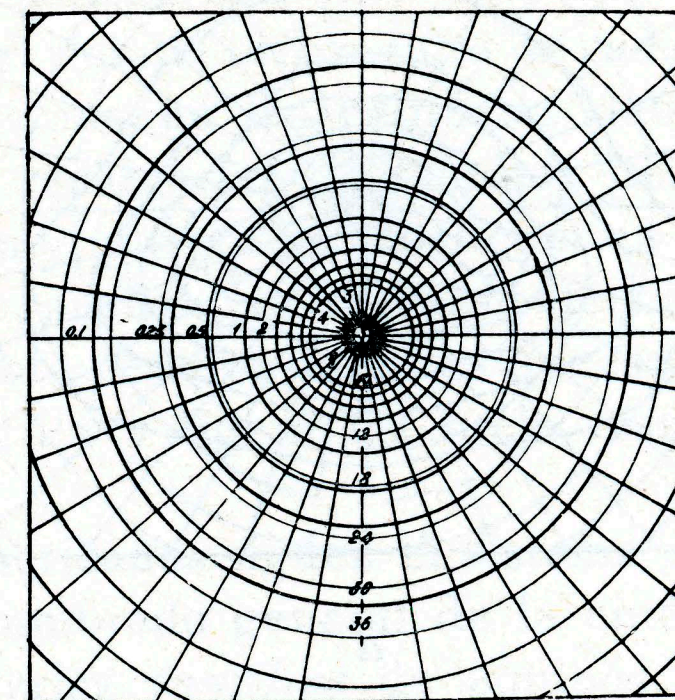
El trazado de curvas isolux que se estudie será tanto mejor cuanto menor sea el número de curvas y más espaciadas aparezcan, siendo su dirección aproximadamente paralela al eje de la calle.

En la *figura 75* pueden verse las curvas isolux correspondientes a una sola unidad (*a*) y a cuatro unidades (*b*) desprovistas de aparato refractor, esto es, de luz «no dirigida». Como se ve, las curvas en *b* tienden a cerrarse alrededor de los focos, apretándose en los puntos próximos a ellos y siguiendo una dirección aproximadamente normal al eje de la calle. El resultado es malo y no existe uniformidad.

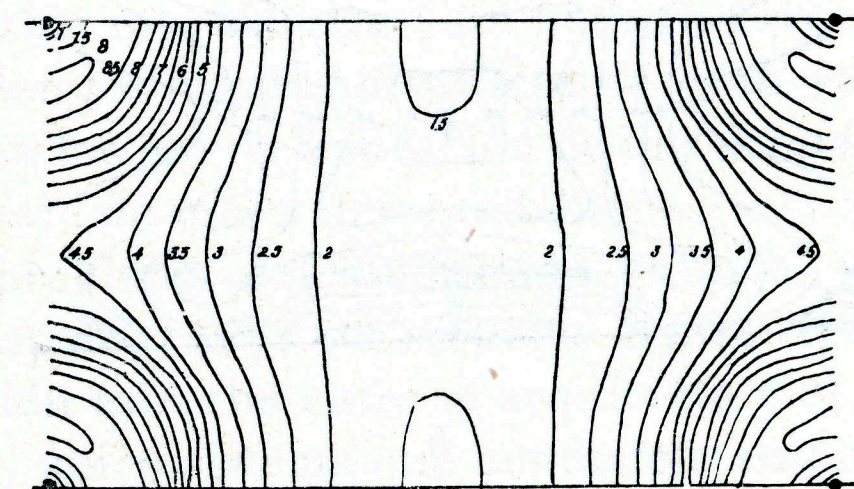
En la *figura 76* tenemos en *a* las curvas correspondientes a un solo aparato con refractor de distribución asimétrica y en *b* las curvas correspondientes

a cuatro focos de la misma naturaleza, ofreciendo un conjunto muy estimable en cuanto a distribución e intensidad de iluminación.

Las curvas isolux permiten calcular la *iluminación media*. Basta para ello trazar una cuadrícula



a

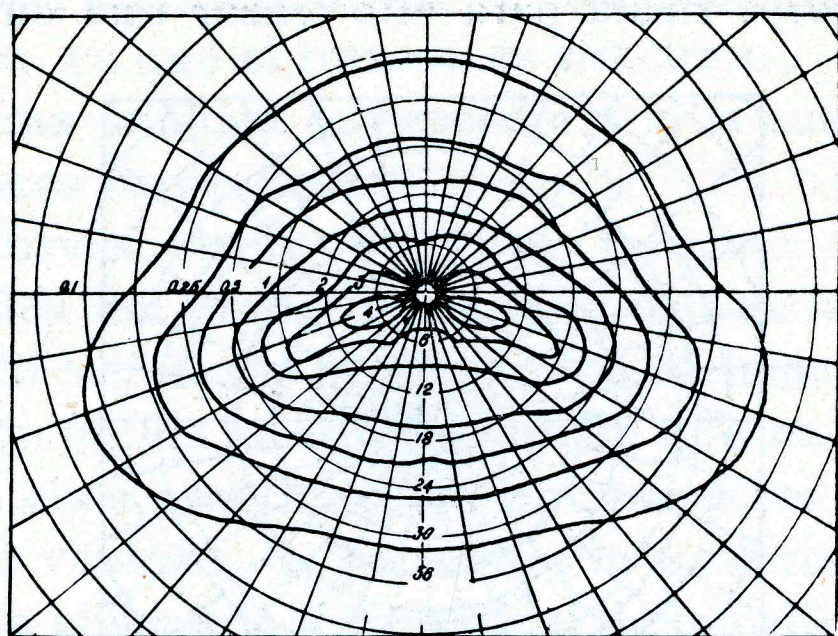


b

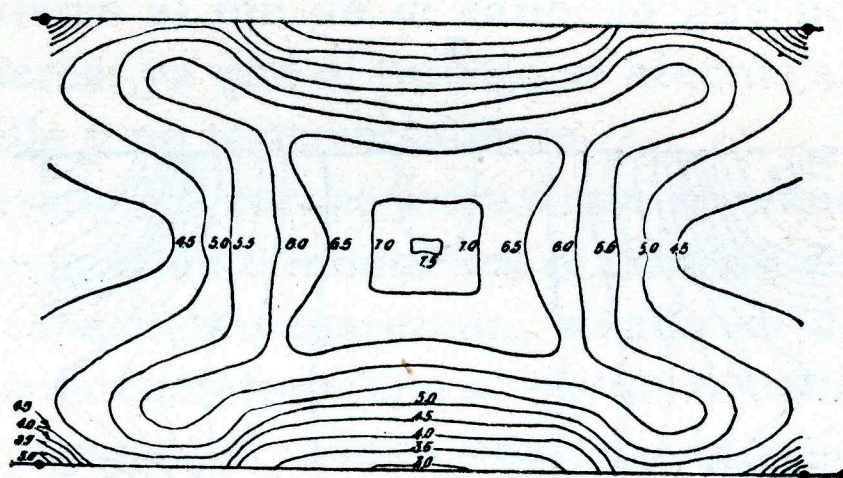
Fig. 75.

de cuadrados iguales sobre las curvas y tomar la iluminación en el centro de cada uno de esos cuadrados; sumando estos valores y dividiendo por el número de ellos obtendremos el valor de la *iluminación media*.

Este procedimiento, aunque pesado, tiene la ventaja de aplicarse igualmente a aparatos de distribución *simétrica* o *asimétrica*, dependiendo, como es



a



b

Fig. 76.

natural, su exactitud del mayor o menor número de cuadrados que se tomen.

8.º Aspecto artístico de las instalaciones. — El problema de proyectar soportes o columnas para aparatos modernos de alumbrado, entendemos que es más un problema de proporciones, esto es, de encontrar la *escala* conveniente, que de detallar en

el adorno de las columnas; es, por tanto, problema de arquitecto más que de decorador. Tanto de día como de noche, al contemplar el aspecto general de una vía, no puede prescindirse de las columnas de alumbrado, pero siempre se apreciarán dentro de una visión de conjunto y pocas veces se irá a apreciar el detalle ornamental de cada columna. La ornamentación en las columnas debe ser sobria, evitando recargarlas de adornos inútiles que las encarecen y que por su repetición en las diferentes columnas, acaban por llamar la atención ofreciendo un conjunto pesado, mientras que una ornamentación sencilla y ligera no suele resultar desagradable.

Los americanos siguen el sistema de estandarizar el alumbrado general de la ciudad, eligiendo una o varias *familias* de equipos de diferentes alturas y potencias, que aplican según el ancho y condiciones de la calle. No encontramos muy recomendable este sistema para nuestro país, en el que abundan los lugares históricos de gran valor artístico, en los que la aplicación de una forma standard resaltaría de modo desagradable.

El problema del alumbrado público, visto bajo este aspecto, debe ser resuelto dentro de una colaboración estrecha entre el arquitecto y el técnico de la luz, único sistema que conduce a resolver de un modo armónico y artístico los problemas modernos de iluminación pública.

9.º Estudio económico. — Es de un gran interés al estudiar un proyecto de alumbrado público, determinar el precio de coste del *lumen-hora*.

Los factores que integran este precio de coste, son los siguientes:

- 1.º Coste de la energía eléctrica.
- 2.º Coste de la renovación de las lámparas.

3.º Cargas fijas por amortización de instalaciones.

4.º Limpieza de aparatos y otros gastos de entretenimiento.

Con relación al punto 1.º, recordamos lo que se dice en el capítulo IV sobre la influencia del voltaje en el redimiento luminoso de las lámparas. Una reducción de sólo un 1 por 100 en el voltaje de régimen de las lámparas, reduce su potencia luminosa en un 3 1/2 por 100 sin más reducción que un 1 1/2 por 100 en la potencia consumida.

Con relación a los puntos 2.º y 3.º, debe estudiarse si la distribución de energía es más conveniente en derivación o en serie. Muy equilibradas y discutidas las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas, nada puede decirse en absoluto, y sólo las condiciones especiales de cada caso particular permitirán decidir el sistema más ventajoso.

Recuérdese, con relación al punto 2.º, que las lámparas en serie, de filamento corto y grueso, son menos susceptibles de rotura por choques, vibraciones, etc., a las que están continuamente sometidas en el alumbrado público.

Respecto al punto 3.º, advertiremos que calculadas estas instalaciones para muy larga duración, las cargas por amortización del primer establecimiento deben ser en general despreciables.

En cuanto al punto 4.º, sabido es que el polvo que en los aparatos de servicio público se acumula rápidamente y en gran cantidad, disminuye en proporciones enormes su poder luminoso. En general, se recomienda una limpieza completa de cada aparato, con agua y jabón por lo menos cada *tres meses*, pero en ensayos hechos en Nueva York, se ha visto que resultaba económica esta limpieza efectuada cada diez o doce días.

CAPÍTULO VII

ILUMINACIÓN DE INTERIORES

Al estudiar un proyecto de iluminación interior hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1.º Elección del sistema de alumbrado.
- 2.º Elección de la intensidad de iluminación.
- 3.º Elección del tipo de aparato.
- 4.º Repartición de puntos luminosos y altura de suspensión.
- 5.º Cálculo del flujo luminoso necesario en las lámparas.

Vamos a tratar sucesivamente de cada uno de estos puntos.

1.º Elección del sistema de alumbrado. — Las tres clases fundamentales de alumbrado son las siguientes:

Alumbrado directo. — La totalidad del flujo luminoso cae sobre el plano de utilización, ya se interpongan o no entre este plano y la lámpara aparatos difusores.

Alumbrado semiindirecto. — Mediante interposición de un aparato especial entre el plano de utilización y el punto luminoso, la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el techo y el resto llega al plano de trabajo a través de una superficie de cristal opalino. Suelen diferenciarse en esta clase de alumbrado el *semiindirecto* y el *semidirecto*, se-

gún que la mayoría del flujo luminoso se dirija hacia arriba o hacia abajo.

Alumbrado indirecto. — En esta clase de alumbrado se envía, mediante aparatos especiales, todo el flujo luminoso al techo de la habitación, que debe tener un color poco absorbente de luz para que ésta, después de sufrir la reflexión difusa, sea despedida hacia el plano de utilización.

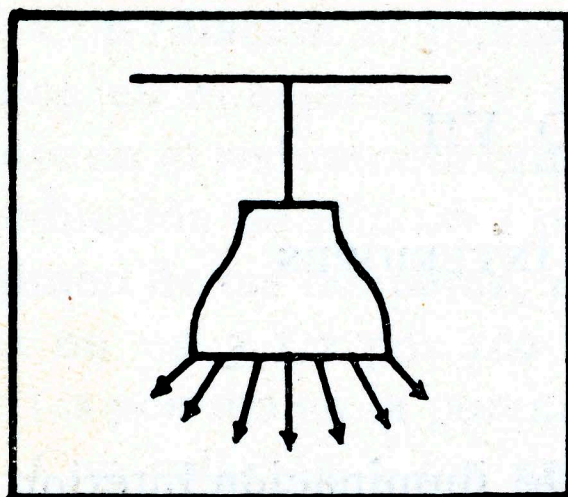


Fig. 77 A.

En la figura 77 aparecen esquematizados los diferentes sistemas que acabamos de describir, y en la figura 78, las cur-

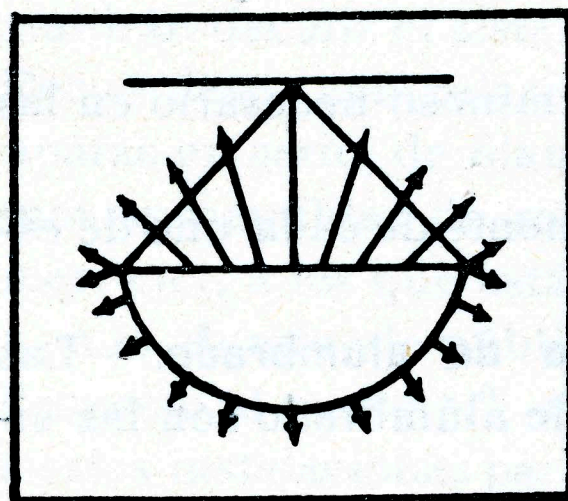


Fig. 77 B.

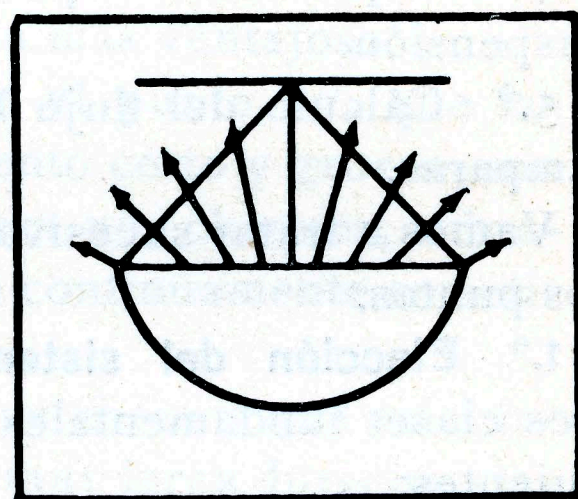


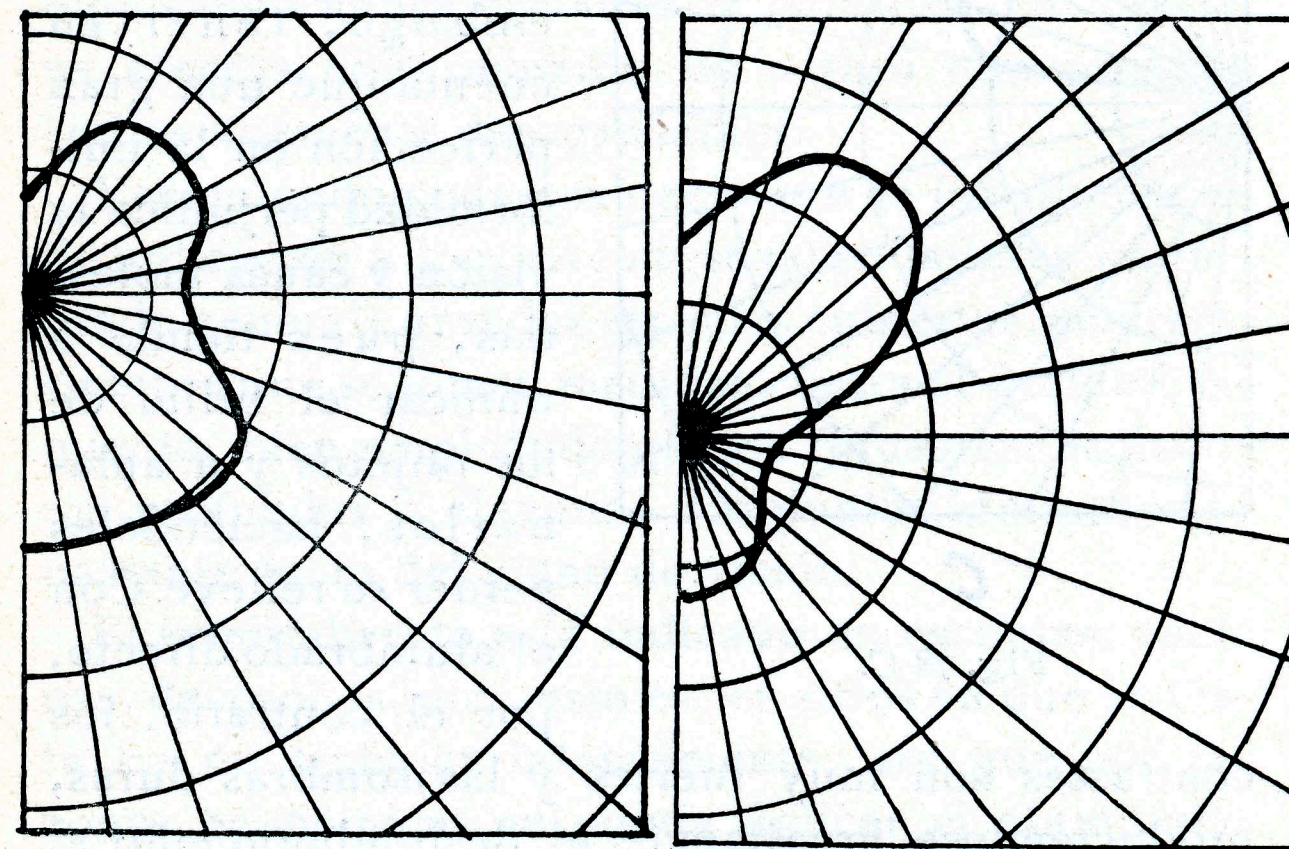
Fig. 77 C.

vas fotométricas características: A, correspondiente a un aparato de alumbrado directo; B, semiindirecto, y C, indirecto.

Comparación de los distintos sistemas. — Desde el punto de vista *económico*, el alumbrado directo lleva ventaja sobre todos los demás, ya que las pérdidas por absorción se reducen a un mínimo; por esta razón el alumbrado directo es el alumbrado industrial por excelencia.

El alumbrado indirecto consume de 30 a 50 por 100 más de energía que el directo, para obtener el mismo efecto; las pérdidas son debidas a la absorción del techo, las paredes y el aparato o dispositivo especial que se emplee.

El alumbrado semiindirecto, intermedio entre los anteriormente descritos, exige un consumo igual-



A

Fig. 78 A.

B

Fig. 78 B.

mente intermedio e íntimamente relacionado con la clase de aparato que haya de emplearse.

Bajo el interesante aspecto de la *fatiga ocular*, la ventaja del alumbrado indirecto es indiscutible, y en la figura 79 puede verse gráficamente las variaciones en la eficacia ocular después de tres horas de trabajo con luz del día (a), con luz indirecta (b), con luz semiindirecta (c) y con luz directa (d). La fatiga producida por el trabajo a la luz del día es prácticamente nula y algo más pronunciada con la

luz indirecta, en tanto que la eficacia visual pierde un 75 por 100 con la luz semiindirecta y aun más con la directa.

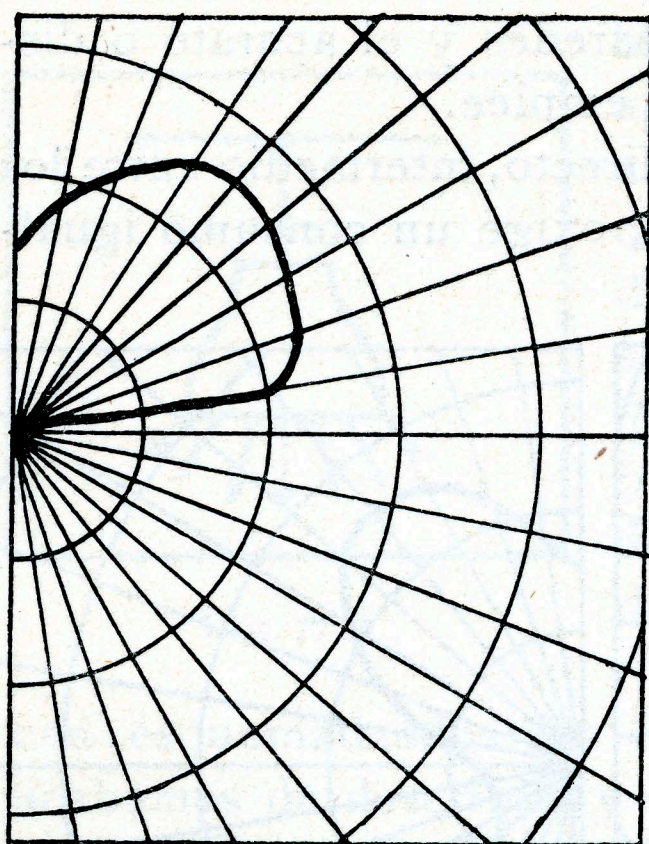


Fig. 78 C.

contrastes son muy fuertes y las sombras duras, produciéndose igualmente el deslumbramiento si no se toman precauciones especiales para evitarlo.

Un punto muy interesante a tener en cuenta al hacer la elección del sistema de alumbrado, es la *depreciación* o pérdida de eficacia que las instalaciones sufren a causa de la acumulación de suciedad, polvo,

Igualmente la *uniformidad* de iluminación se consigue mejor con la luz indirecta. Conviene, sin embargo, tener en cuenta que una gran perfección en la uniformidad perjudica la visión y causa molestias, pues tiende a unificar el brillo de los objetos y a aplanarlos, haciéndoles perder su relieve. Con el alumbrado directo, por el contrario, los

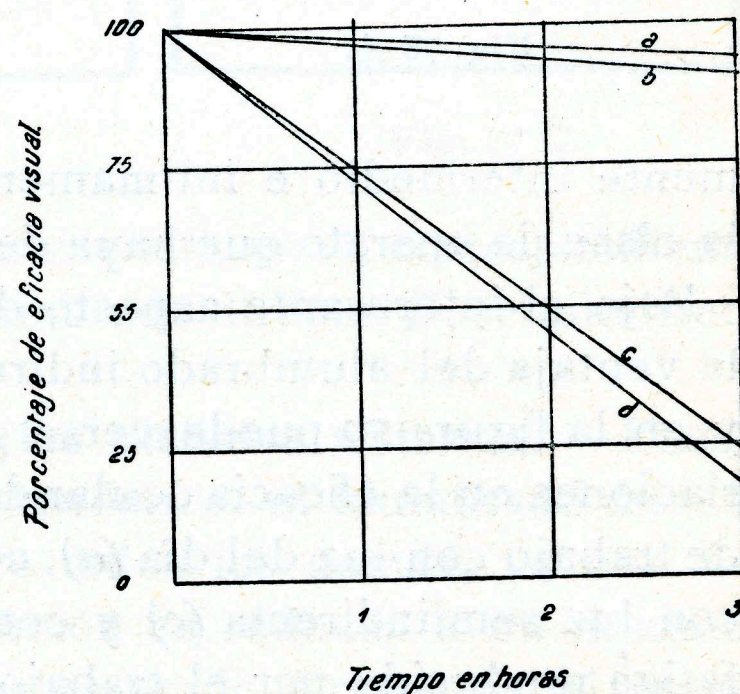


Fig. 79.

etcétera, en los aparatos o dispositivos empleados. Desde este punto de vista, el alumbrado indirecto es el más desfavorable, requiriendo sus instalaciones un especial cuidado.

Es absolutamente indispensable para el alumbrado indirecto, decorar los techos y los dos tercios superiores de las paredes de tonos claros y sin brillo (véase en el capítulo anterior el cuadro XVI), no empleando nunca esmaltes ni barnices, en los que se efectúa una reflexión *no difusa* que produce brillos altamente desagradables.

Resumiendo podemos decir que la luz directa es de aplicación a locales industriales, talleres (alumbrado general), grandes espacios cubiertos, etcétera, siempre que se tomen medidas contra el deslumbramiento, bien empleando globos difusores, armaduras profundas o elevando los puntos luminosos lo bastante fuera del plano de visión.

El semiindirecto está indicado en escuelas, oficinas, despachos, etc., esto es, en sitios en que la vista ha de trabajar intensamente, sin que por razones económicas se pueda aplicar el alumbrado indirecto.

El alumbrado indirecto, por su mayor coste, puede considerarse como de lujo, siendo muy apropiado para salas de espectáculos, cinematógrafos, salas de reunión, etc. Una aplicación indicadísima de este alumbrado son los hospitales, en cuyas salas los pacientes están obligados a permanecer acostados, posición en la que los efectos del deslumbramiento por luz directa son a la larga molestísimos. Un alumbrado indirecto de intensidad moderada es el ideal para esta clase de dependencias.

2.º Elección de la intensidad de iluminación.—La intensidad de iluminación depende ante todo de la clase de trabajo que haya de efectuarse. Desde este

punto de vista puede establecerse la siguiente escala:

Trabajo tosco.....	20 lux.
— medio fino.. .. .	40 —
— fino.....	75 —
— muy fino.....	175 —

Estos valores son los mínimos aceptables, siendo recomendable forzarlos en un 50 por 100.

En las tablas que incluimos a continuación están expresados los valores de iluminación que se recomiendan para los diferentes casos de alumbrado interior y los valores máximos y mínimos aceptables.

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
A) ESTABLECIMIENTOS PÚBLICOS		
<i>Bibliotecas.</i>		
Salas de lectura.....	80	50-100
Salas con estanterías.....	40	30-60
<i>Cinematógrafos.</i>		
Durante los entreactos....	30	20-40
Durante las proyecciones.	1	1-2
<i>Iglesias</i>	30	20-40
<i>Escuelas.</i>		
Anfiteatros.....	50	40-80
Bibliotecas y despachos....	80	50-100
Laboratorios	100	60-120
Pasillos, escaleras.....	30	20-40
Salas de clases.....	80	50-100
Salas de costura.....	120	80-150
Salas de dibujo.....	120	80-150
Salas de estudio:		
Pupitres	80	50-100
Encerados.. ..	60	40-80
Talleres de aprendizaje...	100	60-120
<i>Gimnasios.</i>		
Piscinas.....	40	30-60
Salas de armas.....	80	50-100
Salas de duchas.. ..	40	30-60
Salas de gimnasia	80	50-100
<i>Hospitales.</i>		
Entrada y sala de espera.....	40	30-60
Laboratorios.. ..	100	60-120
Mesas de operaciones... ..	750	500-1.000
Pasillos.....	30	20-40

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
Salas de operaciones.....	100	60-120
Salas de hospital y habitacio- nes de enfermos:		
Con alumbrado individual..	30	20-40
Sin alumbrado individual..	60	40-80
Alumbrado de noche.....	1	1-2
<i>Hoteles.</i>		
Cocina.....	60	40-80
Comedor.....	50	40-80
Dormitorios.....	60	30-80
Hall.....	40	30-60
Pasillos..	10	10-20
Salas de lectura.....	80	50-100
<i>Juegos en local cubierto.</i>		
Billares: alumbrado general..	40	30-60
— alumbrado de la mesa	150	100-200
Pistas de patinar	50	40-80
Tennis.....	150	100-200
<i>Lavabos</i>	50	30-60
<i>Mercados</i>	80	50-100
<i>Museos de pinturas.</i>		
Alumbrado general.....	50	40-80
Alumbrado de cuadros.....	80	50-100
<i>Restaurantes</i>	50	40-80
<i>Salas de baile</i>	40	30-60
<i>Salas de conciertos, de confe- rencias.</i> ..	30	20-40
<i>Teatros.</i>		
Foyer.....	50	30-60
Hall de entrada.....	80	50-100
Sala.....	40	30-60

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
<i>Teléfonos.</i>		
Instalación automática. . . .	100	60-120
Instalación ordinaria.....	50	30-60
<i>B) LOCALES COMERCIALES</i>		
<i>Administraciones.</i>		
Archivos.....	40	30-60
Despachos privados... ..	60	50-100
Despachos públicos.....	60	50-100
Salas de mecanografía y con- tabilidad.....	60	50-100
Sótanos.....	40	30-60
Automóviles (almacenes de venta y de exposición).....	80	50-100
<i>Bancos.</i>		
Despachos	60	50-100
Hall de entrada.....	60	40-80
<i>Comercios.</i>		
Arte (Objetos de).....	80	50-100
Automóviles (Accesorios para).....	60	40-80
Bazares.....	100	60-120
Carnicerías.....	60	40-80
Comestibles.....	60	40-80
Confiterías.....	80	50-100
Decoración.....	80	50-100
Electricistas.....	80	50-100
Estancos.....	80	50-100
Farmacias.....	80	50-100
Floristas.....	60	40-80
Joyerías.....	80	50-100
Lecherías.....	60	40-80
Librerías.....	60	40-80
Mercerías.....	80	50-100
Modas	80	50-100

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
Música... ..	60	40-80
Panaderías.....	60	40-80
Pe'eterías.....	80	50-100
Pianos... ..	60	40-80
Porcelana... ..	60	40-80
Quincalla... ..	60	40-80
Sastrerías.....	80	50-100
Sombrererías.....	80	50-100
Sport (Artículos de)	60	40-80
Viaje (Artículos de).....	60	40-80
Zapaterías.....	80	50-100
Depósitos.....	20	15-30
<i>Grandes almacenes.</i>		
Muestras y escaparates.....	»	100-1.000
Piso bajo.....	100	60-150
Sótano.....	100	60-120
Otros pisos.....	80	50-100
<i>Pequeños almacenes.</i>		
Confecciones, vestidos, mue- bles, etc.....	80	50-100
Salones de peluquería.....	80	50-100
Salones de té.....	80	50-100
C) LOCALES INDUSTRIALES		
<i>Aceros (Fábricas de).</i>		
Fosos para recocer.....	20	10-20
Laminado, cizallado y forjado de gruesas piezas.....	40	30-60
Máquinas automáticas, lami- nado y forjado de pequeñas piezas.....	60	40-80
Naves de colada.	30	20-40

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
<i>Almacenes y depósitos.</i>		
Mercancías grandes.....	30	20-40
Mercancías medianas.....	60	40-80
Mercancías pequeñas.....	80	50-100
Ascensores y montacargas.....	50	30-60
<i>Caldererías.</i>		
Punzonadoras, prensas, ciza- llas, máquinas de estampar y soldar, trabajo en el banco de piezas pequeñas.....	100	60-120
Trabajo en el banco ordinario, máquinas diversas.....	80	50-100
<i>Calzado (Fábricas de).</i>		
Comprobación y apartado de materias primeras, recorta- do (tintes claros).....	100	60-120
Comprobación y apartado de materias primeras, recorta- do y costura (tintes oscuros).	»	100-500
Trabajo a mano y máquinas diversas.....	80	50-100
<i>Cartón (Fábricas de).</i>		
Tintes claros.....	60	40-80
Tintes oscuros.....	80	50-100
<i>Cauchos (Fábricas de) y deri- vados.</i>		
Fabricación de la tela, recor- tado, fabricación de cámaras de aire, vulcanización.....	80	50-100
Fabricación de neumáticos y tacones.....	100	60-120

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
<i>Cemento.</i>		
Esmaltado... ..	60	40-80
Muelas, decantadores.....	50	30-60
Pintura y barnizado.....	100	60-120
Quebrantadoras, filtros para cal.....	30	20-40
<i>Centrales eléctricas: Salas de calderas. - Salas de máquinas.</i>		
Aparatos auxiliares, interrup- tores de aceite y transfor- madores.....	50	30-60
Cuadro de distribución, gene- ratrices, máquinas de vapor, ventiladores y compresores.	60	40-80
Salas de calderas, alimenta- ción de carbón y extracción de cenizas; salas de baterías de acumuladores.	30	20-40
Colores (Fábricas de).....	60	40-80
Conservas (Fábricas de).....	80	50-100
<i>Construcciones eléctricas.</i>		
Baterías de acumuladores, va- ciado de placas.....	60	40-80
Bobinado, aislamiento con mica y otros aisladores.....	100	60-120
<i>Cristalerías.</i>		
Máquinas de soplar, cortar el vidrio, azogado.....	80	50-100
Pulido, deslustrado, compro- bación, grabado y decora- ción del vidrio.....	100	60-120

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
Salas de preparación de mez- clas y de hornos, moldeo y soplado... ..	50	30-60
Tallado, comprobación de piezas pequeñas.....	»	100-500
<i>Cuero (Trabajos de).</i>		
Curtido: Tintes claros... ..	80	50-100
— Tintes oscuros	100	60-120
Preparado de muestras, recor- tado y costura:		
Tintes claros.....	100	60-120
Tintes oscuros	»	100-500
<i>Embalaje y empaquetado.</i>		
Paquetes grandes.....	40	30-60
Paquetes medianos.....	60	40-80
Paquetes pequeños.....	100	60-120
<i>Estudios.</i>		
Arte y fotografía.....	100	60-120
Estudios:		
Alumbrado general	50	30-60
Alumbrado para hacer foto- grafías.	»	500-2.000
<i>Expedición y recepción de mer- cancías.....</i>	40	60-80
<i>Forjado y soldadura (Talleres de).</i>		
Forjado y soldadura de piezas grandes.....	60	40-80
Forjado y soldadura de piezas pequeñas	100	60-120

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
<i>Fundiciones.</i>		
Fabricación de núcleos de grandes dimensiones	60	40-80
Fabricación de núcleos de pequeñas dimensiones....	100	60-120
Plataforma de cargamento, hall de colada, vaciado y desmoldado	50	30-60
<i>Garages de automóviles</i>	50	40-60
<i>Guantes (Fábricas de).</i>		
Preparado de cortes, costuras, comprobación (tintes claros)	100	60-120
Recortado (tintes claros)	80	50-100
Preparado de cortes, costuras, comprobación (tintes oscuros)	»	100-500
Recortado (tintes oscuros)....	100	60-120
<i>Hielo artificial (Fábricas de).</i>		
Salas de máquinas y compresores.....	60	40-80
<i>Hierros perfilados (Fabricación de).....</i>	60	40-80
<i>Hilaturas.</i>		
Algodón:		
Bobinado, máquinas de hilar, apresto, tejidos, géneros de punto.....	80	50-100
Cardas, estirado, hilado en basto, teñido.	40	30-60

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
<i>Lana:</i>		
Estirado: Tintes claros...	60	40-80
— Tintes oscuros ..	100	60-120
Cardado, lavado y peinado.	40	30-60
Retorcido y teñido	60	40-80
<i>Seda:</i>		
Bobinado, encolado y tejido:		
Tintes claros.....	80	50-100
Tintes oscuros	100	60-120
Teñido.....	80	50-100
<i>Tejido:</i>		
Máquinas de hacer media ..	100	60-120
Tintes claros.....	80	50-100
Tintes oscuros.....	120	80-160
<i>Imprentas.</i>		
Composición, linotipia, monotipia y grabado.....	»	100-500
Lectura de pruebas, litografía, electrotipia.....	100	60-120
Vaciado, máquinas diversas, prensas	80	50-100
<i>Inspección y comprobación.</i>		
Piezas grandes.....	60	40-80
Piezas medianas.....	100	60-120
Piezas pequeñas.....	150	100-200
Piezas muy pequeñas.	»	100-500
<i>Jabones (Fábricas de).</i>		
Calderas, cortado en trozos, fabricación del polvo del jabón	50	30-60
Empaquetado del jabón y del polvo del jabón.....	60	40-80

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
<i>Joyerías</i>	»	100-500
<i>Lavabos</i>	40	30-60
<i>Lavaderos, limpieza a seco</i>	80	50-100
<i>Lecherías</i>	60	40-80
<i>Maderas (Trabajos en) y Car- pinterías.</i>		
Acepillado, chapado, encola- do, trabajos en el banco de piezas medianas, tonelería.	80	50-100
Aserrado de gruesas piezas...	50	30-60
Trabajos en el banco y en la máquina de piezas peque- ñas, pulimentado.....	100	60-120
<i>Mataderos</i>	50	30-60
<i>Mecánicos (Talleres).</i>		
Bancos y máquinas para tra- bajos de piezas pequeñas, máquinas automáticas para piezas pequeñas, rectifica- ción de piezas medianas, pulido de piezas pequeñas..	120	80-160
Bancos y máquinas para tra- bajos muy delicados, recti- ficación de piezas pequeñas.	»	100-500
Trabajos de piezas grandes en el banco y en la máquina.	60	40-80
Trabajo de piezas medianas en el banco y en la máquina, máquinas automáticas para piezas medianas, rectifica- ción de piezas grandes, pu- lido de piezas medianas....	100	60-120

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
<i>Montaje (Talleres de).</i>		
Montaje de piezas grandes ...	50	30-60
Montaje de piezas medianas...	80	50-100
Montaje de piezas pequeñas...	100	60-120
Montaje de piezas muy peque- ñas..	»	100-500
<i>Panaderías</i>	80	50-100
<i>Paños (Fábricas de).</i>		
Tejidos claros.....	100	60-120
Tejidos oscuros	150	100-200
<i>Papelerías.</i>		
Pilas, refinado... ..	40	30-60
Recortado de papel, remate..	80	60-120
<i>Pasillos, escaleras</i>	20	10-40
<i>Pintura (Talleres de).</i>		
Mojado, evaporado y secado..	50	30-60
Pintura a mano, ordinaria....	80	50-100
Pintura a mano, delicada.....	100	60-120
Pintura a mano, muy delica- da (carrocerías de automó- viles, cajas de pianos)	150	100-500
<i>Productos químicos (Fábricas de).</i>		
Hogares mecánicos, calderas, tendederos mecánicos, eva- poradores, filtros, aparatos de destilar, cristalizadores mecánicos, blanqueo... ..	40	30-60

CLASE DEL LOCAL	Valores recomen- dados en lux	Valores extremos en lux
<i>Pulimento y bruñido</i>	80	50-100
<i>Refinerías</i>	80	50-100
<i>Relojerías</i>	»	100-500
<i>Sombreros (Fábricas de).</i>		
Costura:		
Tintes claros.....	100	60-120
Tintes oscuros.....	»	100-500
Encolado, preparado, endere- zado de bordes, repasado, terminado:		
Tintes claros.....	80	50-100
Tintes oscuros.....	100	60-120
Tinte, limpieza y terminado:		
Tintes claros.....	60	40-80
Tintes oscuros.....	100	60-120
<i>Tenerías.</i>		
Cubas.....	30	20-40
Limpieza, estirado.....	40	30-60
Recortado.....	60	40-80
Terminado.....	100	60-120
D) LOCALES PRIVADOS		
<i>Despacho</i>	50	40-60
<i>Salón, comedor, dormitorio</i>	30	25-40
<i>Tocador, cuarto de baño</i>	30	20-40
<i>Vestíbulo, despensa</i> ..	20	10-20

3.º **Elección del tipo de aparato.** — Correspon-
diendo a las tres clases fundamentales de alum-
brado, existen aparatos para alumbrado directo,
semidirecto o semiindirecto e indirecto.

En las tres clases podemos encontrar aparatos *simétricos*, cuya curva de repartición de la intensi-
dad luminosa es la misma para cualquier plano que
pase por el eje vertical de la lámpara, y los *asi-
métricos*, cuyo objeto es enviar el flujo luminoso de
preferencia a una zona determinada y cuya curva
de repartición varía para los diferentes planos
verticales.

Tanto en una como en otra clase existen aparatos
extensivos e *intensivos*, llamados también abiertos
y profundos, según que el cono de luz proyectado
sea abierto o cerrado.

Aparatos de alumbrado directo. — Están formados
por reflectores opacos de hierro esmaltado o vidrio
metalizado generalmente, pudiendo llevar o no
dispositivos para evitar el deslumbramiento.

Los aparatos con reflector de hierro esmaltado
tienen su aplicación más adecuada en las fábricas y
talleres, empleándose extensivos si se dispone de
poca altura de techos e intensivos en caso contra-
rio. Si no disponen de globo difusor contra el des-
lumbramiento, que es el caso más corriente, es
muy conveniente emplearlos con lámparas matea-
das en su parte inferior.

Los aparatos con reflector de vidrio metalizado
son más caros y delicados de conservación y, por
tanto, menos propios para usos industriales. Los
dedicados a iluminación de interiores deben ir pro-
vistos de vidrio difusor contra el deslumbramiento.
Un tipo asimétrico de esta clase de aparatos es el
dedicado a iluminación de escaparates, aparatos
destinados a concentrar la luz en un espacio muy
limitado, obteniendo, al propio tiempo, una gran
uniformidad en el haz luminoso. Estos aparatos van
provistos de acanaladuras o estrías, merced a las
cuales difunden la luz en la proporción precisa.

Los reflectores de vidrio metalizado deben emplearse también para obtener efectos de luz indirecta, escondidos en cornisas u otros motivos de

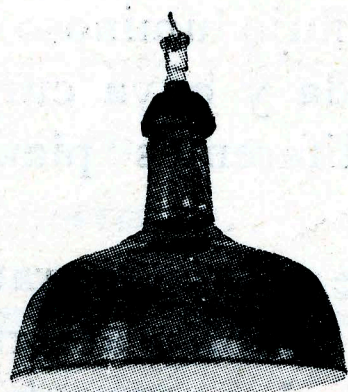


Fig. 80.

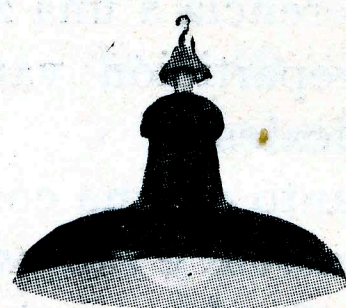


Fig. 81.

decoración, en vez de emplear las lámparas desnudas como se hace corrientemente.

Entre la gran variedad de aparatos para alumbrar

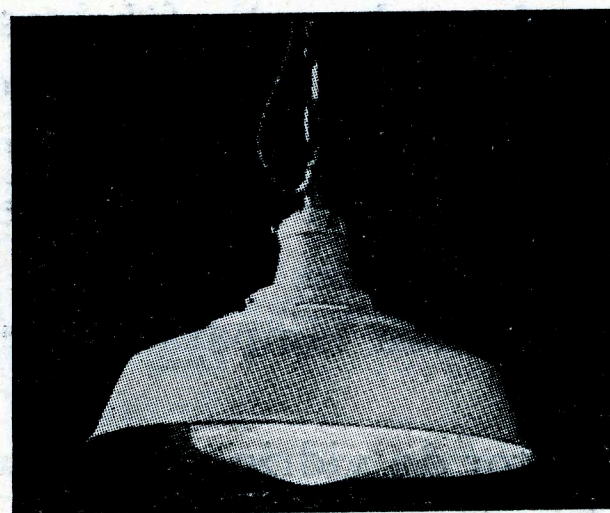


Fig. 82.

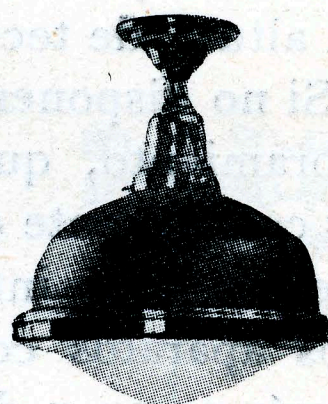


Fig. 83.

do directo, expondremos los siguientes por ser tipos muy corrientes:

Figura 80. — Reflector de hierro esmaltado profundo.

Figura 81. — Reflector de hierro esmaltado abierto.

Figura 82. — Reflector provisto de envolvente difusora contra el deslumbramiento.

Figura 83. — Aparato con reflector de vidrio metalizado y provisto de cristal difusor.

Figura 84. — Reflector extensivo de vidrio metalizado, propio para alumbrado de escaparates.

Aparatos de alumbrado semidirecto y semiindirecto. — Están formados por envolventes de vidrio de distinta calidad y, por tanto, de distintas características de reflexión, absorción y transmisión.

En los semidirectos la parte superior del globo envolvente tiene un gran poder reflector, de modo a dejar pasar poca cantidad de luz hacia el techo; la parte inferior, por el contrario, ha de tener gran poder de transmisión para enviar al plano de trabajo luz directa y luz reflejada.

En los aparatos de luz semiindirecta estas condiciones se efectúan de modo inverso.

La forma exterior de estos aparatos es variadísima, siendo pre-

ferible los de formas más sencillas; en ellos se pierde menos luz que en las formas complicadas, en los que las reflexiones de la luz en su interior son numerosas.

El tamaño debe variar según la potencia de la lámpara que se destina al aparato, y en vista a la

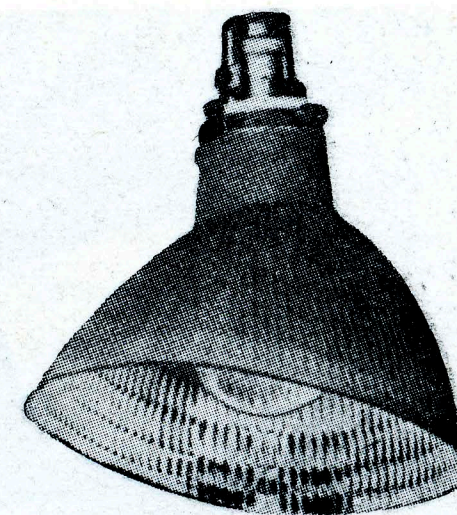


Fig. 84.

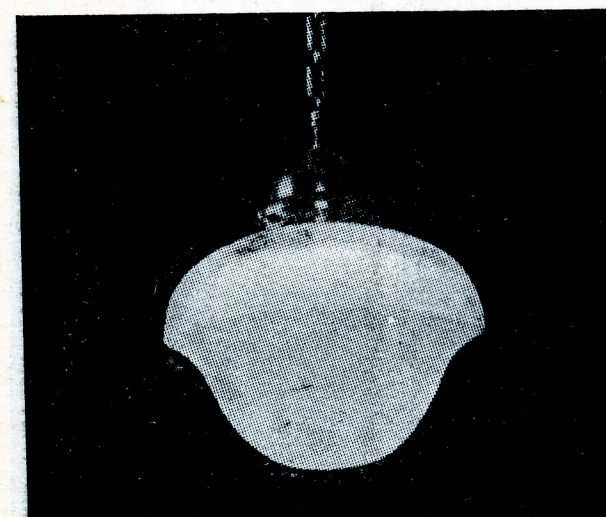


Fig. 85.

duración de la lámpara deben estudiarse las condiciones de ventilación del aparato.

Las figuras 85, 86 y 87 muestran tres tipos muy corrientes de estos aparatos.

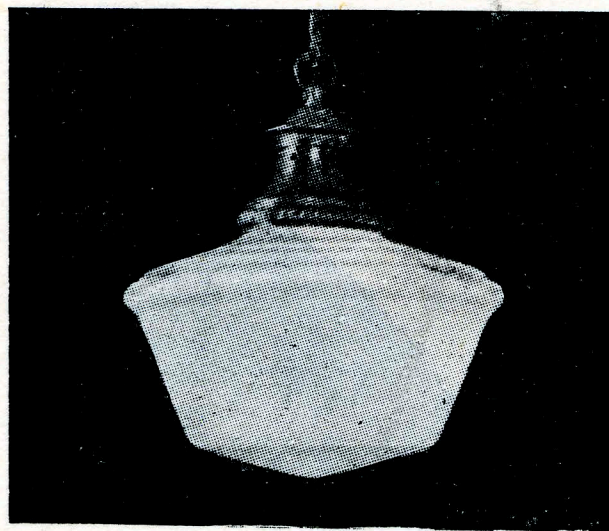


Fig. 86.

Pueden ser abiertos o cerrados; en los primeros, los rayos luminosos van directamente del reflector al techo, y en los segundos, el reflector está encerrado en una envolvente de vidrio claro o ligeramente esmerilado; estos últimos tienen la ventaja de ensuciarse menos que los primeros, en los que el polvo se acumula con gran facilidad. En la figura 88 puede verse uno de estos aparatos de tipo abierto.

El alumbrado indirecto se obtiene muy frecuentemente en combinación con elementos decorativos, ocultando las lámparas o reflectores en cornisas dispuestas al efecto o sirviéndose de dispositivos especiales.

En esta clase de instalaciones, en las que la colaboración del arquitecto y el técnico de la luz es

Aparatos de luz indirecta. — No existen en esencia más que en un reflector invertido que rechaza hacia el techo y las paredes el flujo luminoso de la lámpara.

Pueden ser abiertos o cerrados; en los pri-

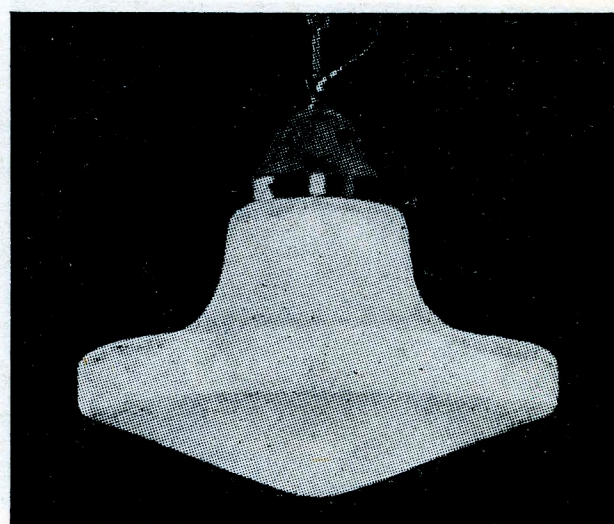


Fig. 87.

indispensable, es de la mayor importancia decidir la clase de reflectores que hayan de emplearse, cuyas curvas de distribución de intensidad deben ser estudiadas con detenimiento, a fin de obtener una repartición uniforme del flujo luminoso y poder espaciar los aparatos al objeto de disminuir lo posible el costo de la instalación.

Como antes indicamos, el empleo de las lámparas desnudas y sin más reflexión que la que proporcionan los materiales de construcción, es un grave error que, si bien proporciona ahorro en los gastos de instalación, esta pequeña economía se paga con creces por el mayor consumo y sin que se haya podido obtener un buen efecto artístico.

Factor de depreciación de un aparato. — El flujo luminoso emitido por un aparato disminuye con el tiempo debido a la disminución del rendimiento de la lámpara, a la suciedad acumulada en el aparato y a la disminución del factor de reflexión del techo y las paredes que se oscurecen por la acción del tiempo.

El rendimiento de las lámparas desciende por el uso en una pequeña proporción que llega escasamente a un 20 por 100 a las 1.000 horas de trabajo, límite que, como sabemos, es el máximo que se admite como duración normal de la lámpara.

La reducción de rendimiento debido a acumulación de polvo, puede verse en la figura 89, en la que se exponen las curvas correspondientes a tres aparatos de distinta especie.

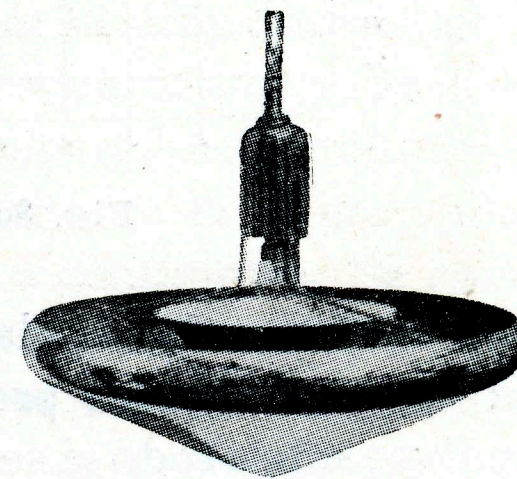


Fig. 88.

En cuanto al tercer factor, es de difícil apreciación *a priori*, ya que depende de infinidad de circunstancias especiales.

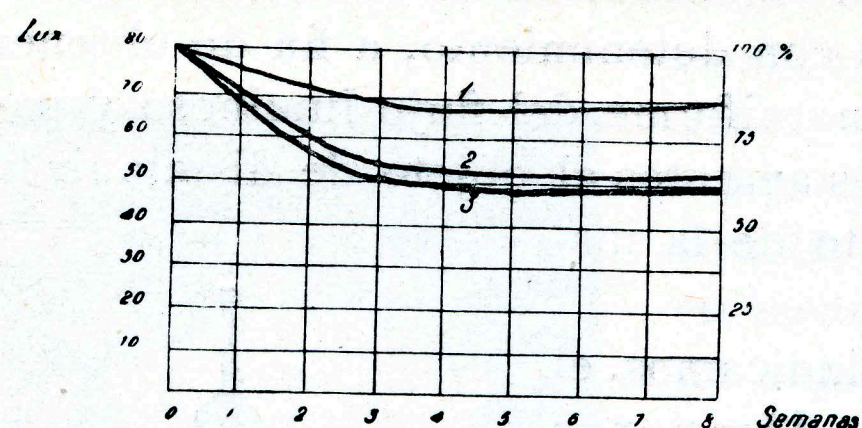


Fig. 89.

En general suele tomarse como factor de depreciación 1,3 para locales limpios, en los que no

sea de temer la rápida acumulación de polvo, y 1,4 a 1,5 para locales propensos a la acumulación de polvo, sobre todo si se trata de alumbrado indirecto.

Colocación de las lámparas en los aparatos de alumbrado.— Todos los aparatos están estudiados a base de que el filamento de la lámpara ocupe una posición determinada; de ello depende el buen rendimiento del aparato y, por tanto, al adquirir uno, esté provisto o no de dispositivo de reglaje, precisa cerciorarse de cuál debe ser la posición correcta de la lámpara.

Si suponemos, por ejemplo, que se trata de un reflector de hierro esmaltado, semejante al representado en la figura 80, en el que a medida que se eleva la lámpara se cierra el ángulo en el vértice del cono luminoso, se llega a las siguientes cifras, para un aparato equipado con lámpara de 60 watios:

- Apertura del cono luminoso, 162 grados. — Rendimiento luminoso, 74,8 por 100.
- Apertura del cono luminoso, 146 grados. — Rendimiento luminoso, 68,2 por 100.
- Apertura del cono luminoso, 138 grados. — Rendimiento luminoso, 64,8 por 100.
- Apertura del cono luminoso, 130 grados. — Rendimiento luminoso, 58,5 por 100.

Se ve, pues, que elevando la lámpara podemos perder $74,8 - 58,5 = 16,3$ por 100 del rendimiento del aparato.

El laboratorio de fotometría de la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage, ha efectuado una serie de pruebas en una esfera de vidrio opalino, al objeto de obtener las variaciones de rendimiento, según la posición ocupada por la lámpara, trazando las curvas fotométricas correspondientes a las diferentes posiciones de la lámpara, colocando ésta primeramente tocando el fondo de la esfera y elevándola después centímetro a centímetro. Se comprobó así que el rendimiento crece a medida que la lámpara se eleva y pasa por un máximo cuando el filamento está en el centro, decreciendo después a medida que la lámpara se aproxima a la abertura del globo.

Vemos, pues, y por ello insistimos en este punto, que la posición que ocupe la lámpara en el interior del aparato *no es indiferente*, pudiendo dar lugar un error de colocación a que los resultados no correspondan a los cálculos base del proyecto.

Los diversos tipos de aparatos que dejamos reseñados resuelven perfectamente el problema del alumbrado *racional*, sin otras miras que obtener un aprovechamiento científico y económico de la luz; no son, por tanto, aparatos de *lujo* que pueden considerarse como elemento de *adorno*, a menos que la decoración de la pieza en que se coloquen venga pensada de acuerdo con las tendencias de la arquitectura moderna. Existen, sin embargo, estos aparatos *rationales* de lujo, en los que el artista, ateniéndose a las leyes de luminotecnia, resuelve el problema en sus dos aspectos técnico y artístico.

Sea cualquiera la clase de aparato de que se

trate y dada la enorme variedad que cabe en esta materia, expondremos a continuación los puntos principales que deben estudiarse al proceder a la elección de un tipo.

a) **Iluminación horizontal y vertical.** — Precisa ver cómo distribuye el aparato el flujo luminoso en relación con el género del local que se quiere iluminar; fácilmente se comprende que en el caso de una oficina o una sala de dibujo, en las que el trabajo se efectúa sobre un plano horizontal, la iluminación debe ser distinta que en un almacén, en que las estanterías están adosadas a las paredes. El estudio de la curva fotométrica facilita la resolución de este punto, y en el caso en que ésta no exista, lo que es seguro en los aparatos de tipo artístico, la simple inspección del mismo da ideas muy aproximadas sobre sus características de repartición.

b) **Ventilación.** — Tanto en los aparatos de tipo cerrado como en los dispositivos proyectados para iluminación indirecta, en combinación con la decoración, es muy interesante para la duración de las lámparas que la ventilación sea eficaz. Véase lo que sobre este particular indicamos en el capítulo IV, página 69, donde se expresan los efectos de una elevación excesiva de la temperatura sobre las lámparas; en el cuadro número XXIII que se incluye a continuación, al tratar del *deslumbramiento*, indicamos los diámetros aproximados de los aparatos cerrados en función de la potencia de sus lámparas.

c) **Deslumbramiento.** — Puede producirse de modo directo por las siguientes causas:

Si el filamento de la lámpara es visible: a causa del excesivo brillo luminoso del mismo, como ya dejamos explicado (véase página 16). En el caso

de aparatos abiertos que carezcan de pantalla o envolvente difusora, ya hemos recomendado el empleo de lámparas mateadas al interior o de las medio mateadas.

Si la intensidad del foco luminoso es excesiva: aun estando el punto luminoso provisto de envolvente difusora, si su potencia es excesiva, dando lugar a un brillo exagerado, puede producir efectos de deslumbramiento desagradables.

Si el foco luminoso está mal colocado con relación al eje del campo visual del observador, igualmente se produce deslumbramiento, por cuya causa los aparatos han de ir colocados en forma que el ángulo de los rayos luminosos y el eje de visión no sea menor de 30 grados.

En el cuadro número XXIII exponemos las características de brillo y tamaño de diferentes aparatos en función de la lámpara que ha de usarse en ellos, datos que pueden servir de punto de partida para el cálculo de aparatos originales.

CUADRO XXIII

DIÁMETROS TEÓRICOS Y USUALES DE APARATOS DE VIDRIO OPALINO

Potencia de las lámparas	Brillo 0,5 b/cm ² — Diámetro	Brillo 0,125 b/cm ² — Diámetro	Diámetros corriente-mente utilizados
75 watos.	11,5	21	20-25
100 —	14	24,5	25-30
150 —	17,5	31	30-40
200 —	21	37	35-41
300 —	26,5	46,5	46-55
500 —	36	62,5	45-60

d) **Naturaleza de las sombras arrojadas.** — Las sombras serán tanto más duras cuanto el foco se aproxime más a ser un *punto* luminoso y cuanto menor sea el número de aparatos que se empleen. Aunque la proporción y naturaleza de las sombras tolerables está íntimamente relacionada con la clase de local que se trate de iluminar, ya hemos dicho que las sombras duras son perjudiciales, por lo que puede decirse como regla que bajo este aspecto conviene emplear aparatos de gran poder difusor o reflector, convenientemente repartidos.

e) **Facilidad de limpieza.** — Es un punto de extraordinaria importancia a tener en cuenta en la elección de aparatos y nunca se encarecerá bastante la necesidad de una limpieza frecuente y cuidadosa de los aparatos de alumbrado, cuyo rendimiento baja rapidísimamente, como ya hemos visto, por pérdida de su poder reflector y transmisor, cuando sobre ellos se acumula el polvo u otras suciedades.

La figura 89 muestra las curvas de rendimiento en función del tiempo de aparatos en los que no se ha hecho limpieza alguna. La curva número 1, correspondiente a un aparato de luz directa, demuestra que el rendimiento desciende de 100 a 85 por 100 al cabo de ocho semanas; la número 2, correspondiente a un aparato semiindirecto, el descenso es más fuerte, 63 por 100, y en la curva número 3, correspondiente a luz indirecta se llega a descender hasta 60.

En la página 192 y siguientes, que comprenden las tablas de «coeficientes de utilización», incluimos 18 tipos corrientes de aparatos cuyas condiciones generales expresamos en el siguiente cuadro número XXIV, condiciones que se refieren a los tipos dibujados y a sus similares.

CUADRO XXIV

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE DISTINTOS APARATOS (Ver los modelos en página 192.)

Tipo de aparato	Iluminación		Condiciones contra el deslumbramiento		Sombras	Entretenimiento
	Horizontal	Vertical	Directo	Por reflexión		
1	Muy bueno	Bueno	Aceptables	Malos	Acceptable	Muy bueno
2	—	—	—	Acceptables	Bueno	Bueno
3	Bueno	—	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	—
4	Muy bueno	—	Bueno	Malo	Bueno	—
5	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	Bueno	—	Muy bueno
7	Bueno	—	—	—	—	Bueno
8	—	—	—	—	Muy bueno	—
9	—	—	—	—	Bueno	Mediano
10	—	Muy bueno	—	—	—	Bueno
11	—	Bueno	—	—	—	—
12	—	—	Muy bueno	Muy bueno	—	—
13	—	Muy bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno	Acceptable
14	Muy bueno	—	Muy bueno	Muy bueno	—	—
15	Bueno	Bueno	—	—	—	Bueno
16	—	—	Bueno	Bueno	—	Acceptable
17	—	—	Muy bueno	Muy bueno	—	—
18	—	—	—	—	—	—

4.º Repartición de puntos luminosos y altura de suspensión. — No hay posibilidad de dar reglas fijas para resolver estos dos puntos, ya que por la forma generalmente irregular de los locales a iluminar y por la diversidad de usos a que se los destina, cada proyecto es un caso particular que hay que resolver ateniéndose a sus especiales características. Sólo podemos, por tanto, dar normas muy generales y valores límites.

Plano de utilización. — Es el plano sobre el que se supone que ha de ser aprovechado el efecto útil del alumbrado, y se supone situado de 0,75 a 1 metro sobre el suelo del local a iluminar.

Altura de suspensión. — En los alumbrados directo y semidirecto, se entiende por altura del punto luminoso la distancia entre el *plano de utilización* y el filamento de la lámpara. Por tanto, para tener esta altura, hay que descontar de la total de la habitación un metro por el plano de utilización más la distancia del filamento de la lámpara al techo.

En los alumbrados indirecto y semiindirecto, la altura es igual a la distancia desde el plano de utilización al techo; no hay, por tanto, más que descontar de 0,8 a 1 metro a la altura total de la habitación.

En el alumbrado directo conviene colocar los puntos de luz tan altos como sea posible para separarlos del campo de visión, evitando el deslumbramiento, y para poder espaciarlos más, sin perjudicar la uniformidad de iluminación, limitando así el número de unidades y haciéndolas más potentes, con lo que se tendrá economía por el mayor rendimiento de las lámparas de gran potencia.

En el alumbrado indirecto y semiindirecto se puede tomar como valor límite de la distancia *del apa-*

rato al techo, la relación $\frac{E}{6}$, siendo E el valor de la distancia entre unidades luminosas.

Distribución de puntos luminosos. — En los alumbrados directo y semidirecto, si llamamos E a la distancia entre aparatos, D a la distancia entre un aparato y la pared y H a la altura de suspensión, tal como la dejamos definida, se podrá tomar $\frac{E}{H}$ igual o menor que 1,5 y $D = \frac{E}{2}$; si se trata de un taller u oficina en los que se trabaje cerca de la pared, se puede tomar $D = \frac{E}{3}$.

En el caso de alumbrado indirecto y semiindirecto, se pueden adoptar los mismos valores teniendo en cuenta, como es natural, que el valor H es distinto que en el caso anterior.

Repetimos que estas indicaciones no son más que tendencias generales y que siempre hay que tener en cuenta el uso a que se destina el local y consultar igualmente las curvas de distribución de intensidad luminosa de los aparatos escogidos, ya que de la distribución de los aparatos depende la uniformidad de la iluminación, que debe conseguirse siempre que sea posible.

Una vez hecha la distribución dejamos determinado el número de puntos luminosos necesarios.

5.º Cálculo del flujo luminoso de las lámparas. — La fórmula que nos determina el flujo luminoso necesario por lámpara es la siguiente:

$$f = \frac{E \times S \times d}{n \times U} \quad [1]$$

en la que:

f = flujo por lámpara expresado en lúmenes.

E = iluminación que se desea obtener expresada en lux.

S = superficie del local a iluminar expresado en metros cuadrados.

n = número de aparatos.

U = coeficiente de utilización.

Al llegar a calcular el flujo por lámpara conocemos de esta fórmula:

E , valor que hemos tomado de las tablas (página 159) o que es una de las características impuestas al proyecto.

S , se deduce de las dimensiones del local.

n , lo determinamos al hacer la repartición de aparatos.

d , factor de depreciación del aparato (1,3 para locales limpios y 1,4 a 1,5 para locales propensos a la acumulación de polvo).

Nos falta sólo por determinar el valor de U , *coeficiente de utilización*.

Se llama coeficiente de utilización de un aparato dado, en un local determinado, a la relación U entre el flujo que llega al plano de utilización F_u y el flujo realmente emitido por lámpara F_e .

La diferencia $F_e - F_u$ representa el flujo absorbido por el aparato, el techo y los muros del local que se trata de iluminar.

El coeficiente de utilización no varía para locales geoméricamente semejantes y el mismo poder de reflexión en el tinte de sus paredes y techo. En cambio varía para locales de diferente forma y dimensiones, como puede verse en la figura 90; si

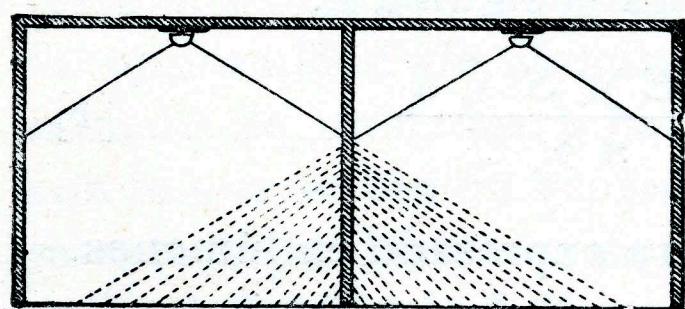


Fig. 90.

suponemos que no existe el tabique divisorio, se comprende que la acción del flujo directo de ambos aparatos ha de ser más eficaz que

el flujo reflejado, dibujado en trazos, que se produce al introducir el tabique divisorio.

El coeficiente de utilización depende: del tipo de aparato; del poder reflector del techo y muros; de un factor llamado *índice del local*.

Los valores del índice del local vienen dados por las siguientes fórmulas:

Alumbrado directo:

$$i = \frac{\text{ancho del local}}{2 H},$$

siendo H la altura *de las lámparas* sobre el plano de utilización.

Alumbrado indirecto o semiindirecto:

$$i = \frac{\text{ancho del local}}{4/3 H},$$

siendo H la altura *del techo* sobre el plano de utilización.

Si estos valores resultasen superiores a 5, se toma el valor 5.

El coeficiente de utilización se determina del siguiente modo:

Conocidas las dimensiones del local y la clase de alumbrado, se determinan los índices de dos locales *cuadrados* cuyos lados sean, en uno, iguales a la anchura del local que se trata de iluminar, y en otro, a la longitud de dicho local. A cada uno de estos índices corresponderá en las tablas un coeficiente de *utilización parcial*, u_a y u_l , respectivamente, y el coeficiente de *utilización total* vendrá dado por la fórmula

$$U = u_a + \frac{u_l - u_a}{3} \quad [2].$$

Para facilitar los cálculos y tener en cuenta la influencia del aparato y del color de las paredes y techo se insertan las tablas correspondientes al final de este capítulo, que contienen los coeficientes de utilización en función de la clase de aparato y del factor de reflexión de techo y muros.

Deducido el valor de U , único que nos quedaba por determinar, se sustituye en la fórmula [1] y deducimos el número de lúmenes necesario por lámpara; buscando en el cuadro número XIII (pág. 82) o en las tablas que los fabricantes de lámparas proporcionan la lámpara más aproximada, obtendremos su potencia en watios, con lo que el problema queda completamente resuelto.

EJEMPLOS. — Iluminación de un taller mecánico de 30×15 metros. Altura del local, 5 metros. Tensión de servicio, 110 voltios. Techo muy claro. Paredes algo oscuras.

Alumbrado directo.

Intensidad de iluminación, 80 lux.

Aparato reflector difusor número 3 (véanse tablas página 192).

Altura y distribución de puntos de luz. — Suponiendo los aparatos pegados al techo, si la distancia del filamento de las lámparas al gancho es de 0,30 y el plano de utilización lo suponemos 0,80 metros sobre el suelo, el valor de H será $5 - 0,30 - 0,80 = 3,90$. La separación *máxima* será $3,90 \times 1,5 = 5,85$ metros. Si tomamos 5 metros y 2,50 metros para los próximos a la pared, tendremos un total de 18 lámparas.

Índice de un local de 15×15 :

$$ia = \frac{15}{2 \times 3,90} = 1,92$$

Tomamos 1,50 y en las tablas, página 192, encon-

tramos para el aparato número 3 techo «muy claro» y paredes «algo oscuras»; para un índice 1,50, el coeficiente de utilización, 0,34.

De la misma manera para el local de 30×30 encontramos valor del índice 3,85; tomamos 4, y en las mismas tablas encontramos el coeficiente 0,46.

El valor de U será según [2]:

$$U = 0,34 + \frac{0,46 - 0,34}{3} = 0,38.$$

Tomando como coeficiente de depreciación 1,4 por ser local propicio a la acumulación de polvo y aplicando la fórmula [1]:

$$f = \frac{70 \times 450 \times 1,4}{18 \times 0,38} = 7.365 \text{ lúmenes.}$$

La lámpara que más se aproxima es la de 500 watios, valor que podemos adoptar.

De la misma manera procederíamos para un caso de alumbrado indirecto o semiindirecto, variando únicamente el valor de H y la fórmula para obtener el índice del local.

Cálculo de la intensidad de la iluminación por puntos. — En muchos casos puede ser útil hacer este cálculo, bien porque se tenga la práctica suficiente para suponer una primera solución, que después se comprueba en los puntos más desfavorables, bien para modificar los resultados obtenidos con el procedimiento del coeficiente de utilización, que algunas veces conduce a resultados muy altos o muy bajos por falta de lámparas intermedias a las de la serie standard, lo que obliga a emplear aparatos alternados de más y menos potencia.

En estos casos, o en cualquier otro que pueda presentarse, se procede exactamente igual que ya dejamos explicado en el capítulo VI, página 134

y siguientes, tanto para la iluminación horizontal como para la vertical, aplicando las fórmulas fundamentales y los cuadros y figuras correspondientes, por lo que no precisa que repitamos el procedimiento en este lugar.

Igualmente se pueden trazar las curvas de iluminación por el procedimiento explicado en el mismo capítulo, página 144, en casos excepcionales que precisen una gran exactitud y uniformidad perfecta en la iluminación, por ejemplo, una gran sala de dibujo de un centro técnico, un taller de ajuste de pequeñas piezas, etc., etc.

Cálculos abreviados.—Aunque los procedimientos de cálculo que hemos explicado son sencillos y rápidos, puede ofrecerse el caso en que o no precise una gran exactitud o se desee tener una primera idea aproximada antes de empezar el estudio detallado de un proyecto.

Se puede resolver así cualquier problema por el procedimiento del «flujo total», aplicación de las teorías generales ya conocidas.

Por definición sabemos que la iluminación en lux sobre una superficie, es igual al número de lúmenes que recibe dividido por sus metros cuadrados. Como no se aprovecha todo el flujo que se emite, la fórmula que nos da el valor de la iluminación puede escribirse como ya sabemos:

$$E = \frac{U \times F}{S},$$

siendo F el flujo y U el coeficiente de utilización, tal como queda definido.

De la fórmula se deduce que

$$F = \frac{S \times E}{U};$$

por tanto, si conocemos valores de U , deducidos por la práctica, en los que se hayan tenido en cuenta los distintos factores que lo integran, el problema se reduce a una sencilla operación de regla de cálculo.

Los valores que pueden darse a U son los siguientes:

1.º Para empleo de armaduras con reflector:

Valor de U , de 0,4 a 0,6, según que el tono general de la instalación a iluminar sea más o menos oscuro. Para talleres de condiciones corrientes se puede tomar $U = 0,45$.

2.º Armaduras de interior de vidrio opalino:

Valor de U , de 0,35 a 0,50 para difusores.

Valor de U , de 0,40 a 0,65 para armaduras directas.

Valor de U , de 0,35 a 0,60 para armaduras semi-indirectas.

Valor de U , de 0,15 a 0,45 para armaduras indirectas y alumbrado indirecto en general, cornisas, etcétera.

3.º Valor de U , de 0,1 a 0,4 para lámparas artísticas a base de vidrio deslustrado u opal, candelabros, etc.

4.º Valor de U , de 0,05 a 0,2 lámparas con pantallas, aparatos a base de vidrios coloreados, etcétera.

EJEMPLO.—Se quiere iluminar la nave de una fábrica de 20×40 metros, con armaduras directas de hierro esmaltado tipo taller, con 40 lux. La corriente de alimentación a 110 voltios. La industria a que se dedica la fábrica produce abundante polvo.

$$\begin{aligned} E &= 40 \text{ lux} \\ S &= 800 \text{ m}^2 \\ U &= 0,4 \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} \frac{800 \times 40}{0,4} &= \frac{32.000}{0,4} = \\ &= 80.000 \text{ lúmenes;} \end{aligned} \right.$$

este flujo puede obtenerse (véase el cuadro número XIII) con

$$\frac{80.000}{1.350} = 60 \text{ lámparas de 100 watios.}$$

Carga total: 6 kilowatios.

$$\frac{80.000}{2.150} = 37 \text{ lámparas de 150 watios.}$$

Carga total: 5,5 kilowatios.

$$\frac{80.000}{3.000} = 26 \text{ lámparas de 200 watios.}$$

Carga total: 5,2 kilowatios.

$$\frac{80.000}{4.800} = 16 \text{ lámparas de 300 watios.}$$

Carga total: 4,8 kilowatios.

$$\frac{80.000}{8.337} = 9 \text{ lámparas de 500 watios.}$$

Carga total: 4,5 kilowatios.

Como se ve, la solución más aceptable es la última, por su mayor economía de instalación (menor número de aparatos y de consumo que pone de manifiesto el mejor rendimiento de las lámparas grandes); además, la uniformidad de iluminación se consigue más fácilmente con pocas unidades potentes que con muchas pequeñas. Conocido el número de lámparas necesario y su potencia, se distribuyen con arreglo a las normas conocidas o de la manera que impongan las condiciones especiales del local.

Si el resultado de un problema fuese un número de lúmenes que no se pudiese conseguir con lámparas de un solo tipo, no hay inconveniente en alternar lámparas mayores y más pequeñas.

Supongamos que el flujo total que necesitamos fuese 52.000 lúmenes; 20 lámparas de 150 watios nos darían $20 \times 2.150 = 43.000$ lúmenes, que es poco, y 20 lámparas de 200 watios nos darían $20 \times 3.000 = 60.000$ lúmenes, que es demasiado. La solución sería emplear 10 lámparas de cada clase, colocadas alternando simétricamente, con lo que tendríamos $(3.000 + 2.150) \times 10 = 51.500$ lúmenes.

Resumen. — Resumiendo todo lo que dejamos expuesto, podemos decir que las condiciones esenciales que deben realizarse en una instalación de alumbrado son las siguientes:

Evitar el deslumbramiento.

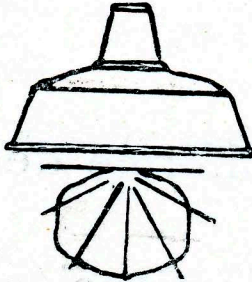
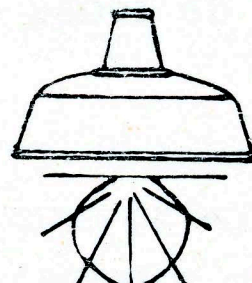
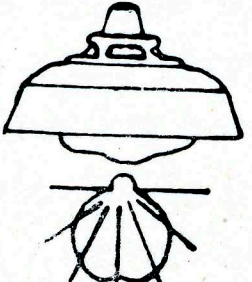
Obtener una repartición uniforme del flujo luminoso.

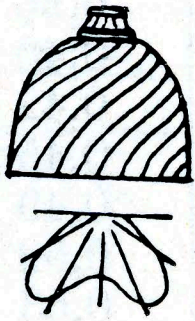
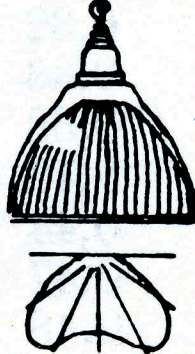
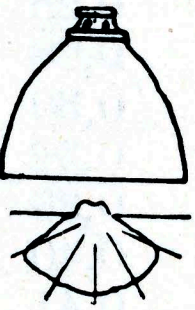
Obtener una intensidad de iluminación adecuada al uso a que se destina el local.

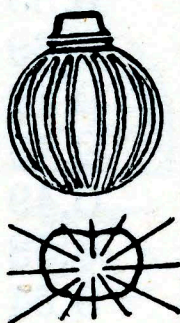
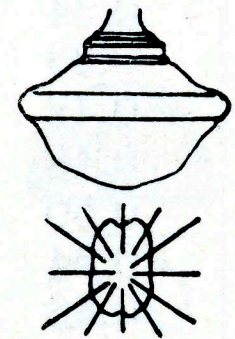
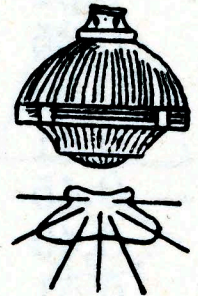
Proteger las lámparas contra suciedades y efectos de la intemperie.

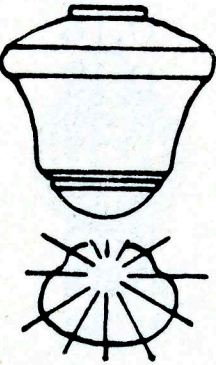
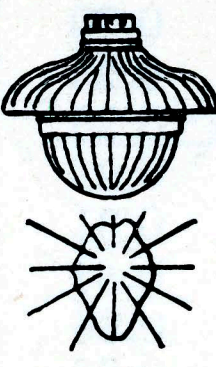
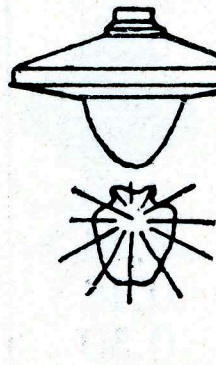
Atender el efecto decorativo.

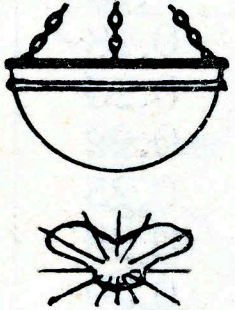
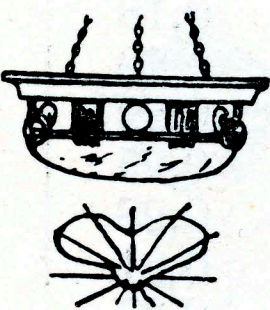
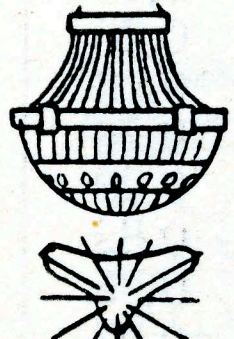
Asegurar el mantenimiento de todas estas condiciones.

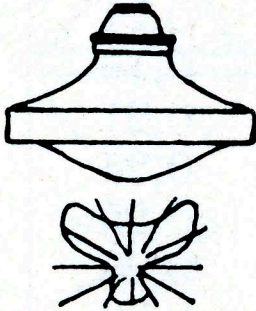
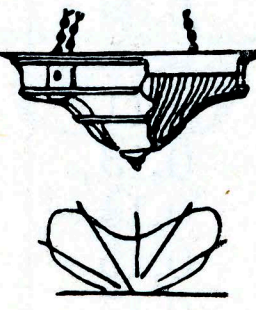
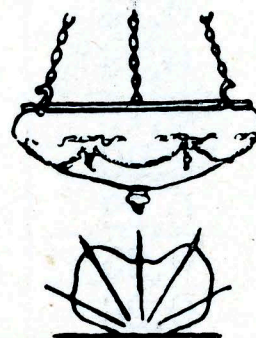
FACTOR DE REFLEXIÓN		DEL TECHO	MUY CLARO (70 %)			BASTANTE CLARO (50 %)			BASTANTE OSCURO (30 %)		
		DE LAS PAREDES	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %
TIPO DE APARATO		Indice del local	COE FICIENTES DE UTILIZACIÓN								
1. — Reflector extensivo.		0,6	0,32	0,29	0,26	0,32	0,29	0,26	0,32	0,28	0,26
		0,8	0,40	0,36	0,34	0,39	0,36	0,34	0,39	0,36	0,34
		1,0	0,43	0,40	0,38	0,42	0,40	0,38	0,42	0,40	0,38
		1,25	0,46	0,43	0,42	0,45	0,43	0,42	0,44	0,42	0,42
		1,5	0,49	0,46	0,44	0,47	0,45	0,44	0,47	0,45	0,44
		2,0	0,52	0,50	0,47	0,51	0,49	0,47	0,51	0,49	0,47
		2,5	0,56	0,53	0,51	0,55	0,53	0,51	0,54	0,52	0,51
		3,0	0,57	0,55	0,53	0,56	0,54	0,53	0,55	0,53	0,52
		4,0	0,59	0,57	0,56	0,58	0,56	0,55	0,57	0,55	0,54
		5,0	0,60	0,58	0,57	0,59	0,57	0,56	0,58	0,56	0,55
2. — Reflector extensivo con lámpara opal.		0,6	0,29	0,26	0,23	0,29	0,26	0,23	0,29	0,25	0,23
		0,8	0,36	0,33	0,31	0,35	0,32	0,30	0,35	0,32	0,30
		1,0	0,39	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,37	0,36	0,35
		1,25	0,42	0,39	0,37	0,41	0,39	0,37	0,40	0,38	0,37
		1,5	0,44	0,42	0,39	0,43	0,41	0,39	0,42	0,40	0,39
		2,0	0,47	0,45	0,43	0,46	0,44	0,43	0,46	0,44	0,43
		2,5	0,50	0,48	0,46	0,49	0,47	0,46	0,49	0,47	0,46
		3,0	0,51	0,50	0,47	0,50	0,49	0,47	0,50	0,48	0,47
		4,0	0,53	0,51	0,50	0,52	0,50	0,50	0,51	0,50	0,49
		5,0	0,54	0,53	0,51	0,53	0,51	0,50	0,53	0,51	0,50
3. — Reflector-difusor.		0,6	0,24	0,19	0,16	0,23	0,19	0,16	0,23	0,19	0,16
		0,8	0,29	0,26	0,23	0,29	0,25	0,22	0,29	0,25	0,22
		1,0	0,32	0,29	0,26	0,31	0,29	0,26	0,31	0,28	0,26
		1,25	0,35	0,32	0,29	0,34	0,31	0,29	0,33	0,30	0,29
		1,5	0,37	0,34	0,31	0,36	0,33	0,31	0,35	0,32	0,31
		2,0	0,40	0,38	0,35	0,40	0,37	0,35	0,39	0,36	0,34
		2,5	0,43	0,41	0,39	0,42	0,41	0,38	0,41	0,40	0,38
		3,0	0,45	0,43	0,41	0,44	0,42	0,41	0,43	0,41	0,40
		4,0	0,47	0,46	0,44	0,46	0,44	0,43	0,45	0,43	0,42
		5,0	0,49	0,47	0,45	0,48	0,46	0,45	0,47	0,45	0,44

FACTOR DE REFLEXIÓN		DEL TECHO	MUY CLARO (70 %)			BASTANTE CLARO (50 %)			BASTANTE OSCURO (30 %)		
		DE LAS PAREDES	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %
TIPO DE APARATO		Indice del local	COE FICIENTES DE UTILIZACIÓN								
4. — Reflector de vidrio plateado.		0,6	0,32	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24
		0,8	0,39	0,35	0,32	0,39	0,35	0,32	0,39	0,35	0,32
		1,0	0,43	0,39	0,37	0,42	0,39	0,37	0,41	0,39	0,37
		1,25	0,46	0,43	0,40	0,46	0,43	0,40	0,44	0,42	0,40
		1,5	0,49	0,46	0,43	0,48	0,45	0,43	0,47	0,45	0,43
		2,0	0,53	0,50	0,48	0,52	0,50	0,48	0,52	0,49	0,48
		2,5	0,57	0,54	0,52	0,56	0,54	0,52	0,55	0,53	0,52
		3,0	0,58	0,56	0,54	0,57	0,55	0,54	0,56	0,54	0,53
		4,0	0,61	0,59	0,57	0,60	0,58	0,56	0,59	0,57	0,56
		5,0	0,63	0,61	0,58	0,61	0,59	0,58	0,60	0,58	0,57
5. — Reflector prismático.		0,6	0,34	0,29	0,25	0,33	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24
		0,8	0,41	0,36	0,34	0,40	0,35	0,32	0,39	0,34	0,32
		1,0	0,45	0,42	0,38	0,45	0,41	0,37	0,42	0,39	0,36
		1,25	0,49	0,46	0,43	0,48	0,44	0,41	0,45	0,42	0,40
		1,5	0,53	0,50	0,45	0,52	0,48	0,44	0,49	0,46	0,43
		2,0	0,58	0,56	0,50	0,57	0,53	0,49	0,53	0,50	0,47
		2,5	0,63	0,60	0,56	0,61	0,57	0,54	0,58	0,54	0,52
		3,0	0,65	0,63	0,59	0,63	0,59	0,56	0,60	0,56	0,54
		4,0	0,69	0,67	0,64	0,67	0,63	0,61	0,63	0,59	0,58
		5,0	0,72	0,70	0,66	0,69	0,65	0,63	0,65	0,61	0,60
6. — Reflector opal.		0,6	0,31	0,26	0,23	0,30	0,25	0,22	0,29	0,24	0,22
		0,8	0,39	0,34	0,31	0,37	0,32	0,29	0,36	0,31	0,28
		1,0	0,43	0,38	0,35	0,41	0,37	0,34	0,39	0,35	0,33
		1,25	0,47	0,43	0,39	0,44	0,42	0,38	0,42	0,38	0,36
		1,5	0,50	0,46	0,42	0,47	0,44	0,40	0,44	0,41	0,38
		2,0	0,55	0,51	0,47	0,52	0,48	0,45	0,49	0,45	0,43
		2,5	0,59	0,55	0,51	0,56	0,52	0,49	0,53	0,49	0,47
		3,0	0,62	0,58	0,54	0,58	0,54	0,51	0,54	0,51	0,49
		4,0	0,65	0,62	0,58	0,61	0,57	0,55	0,57	0,54	0,53
		5,0	0,67	0,64	0,60	0,63	0,60	0,57	0,59	0,57	0,54

FACTOR DE REFLEXIÓN		DEL TECHO	MUY CLARO (70 %)			BASTANTE CLARO (50 %)			BASTANTE OSCURO (30 %)		
		DE LAS PAREDES	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %
TIPO DE APARATO		Indice del local	COE FICIENTES DE UTILIZACIÓN								
7. — Globo difusor.		0,6	0,20	0,15	0,12	0,18	0,13	0,11	0,16	0,12	0,10
		0,8	0,25	0,20	0,16	0,23	0,18	0,15	0,20	0,16	0,14
		1,0	0,29	0,23	0,20	0,26	0,21	0,18	0,23	0,19	0,16
		1,25	0,33	0,27	0,23	0,29	0,24	0,21	0,26	0,22	0,18
		1,5	0,37	0,31	0,27	0,32	0,27	0,23	0,28	0,24	0,21
		2,0	0,41	0,36	0,31	0,36	0,32	0,28	0,32	0,28	0,24
		2,5	0,45	0,39	0,35	0,40	0,35	0,31	0,35	0,31	0,27
		3,0	0,48	0,42	0,38	0,42	0,37	0,34	0,37	0,33	0,30
		4,0	0,53	0,47	0,43	0,46	0,42	0,39	0,40	0,36	0,34
		5,0	0,55	0,51	0,46	0,49	0,44	0,41	0,42	0,38	0,37
8. — Armadura difusora.		0,6	0,22	0,18	0,15	0,20	0,16	0,14	0,19	0,15	0,13
		0,8	0,27	0,23	0,20	0,25	0,21	0,19	0,24	0,20	0,18
		1,0	0,30	0,26	0,24	0,28	0,25	0,22	0,26	0,23	0,21
		1,25	0,34	0,30	0,27	0,31	0,27	0,25	0,28	0,25	0,23
		1,5	0,37	0,33	0,29	0,34	0,30	0,27	0,31	0,28	0,25
		2,0	0,41	0,37	0,33	0,37	0,34	0,31	0,34	0,31	0,29
		2,5	0,44	0,40	0,37	0,40	0,37	0,34	0,37	0,34	0,32
		3,0	0,47	0,43	0,39	0,42	0,39	0,36	0,38	0,36	0,34
		4,0	0,50	0,46	0,43	0,46	0,41	0,40	0,41	0,38	0,37
		5,0	0,52	0,49	0,45	0,47	0,43	0,41	0,42	0,40	0,38
9. — Armadura prismática.		0,6	0,28	0,22	0,18	0,26	0,21	0,17	0,25	0,19	0,16
		0,8	0,35	0,29	0,25	0,33	0,28	0,24	0,31	0,26	0,23
		1,0	0,38	0,33	0,29	0,36	0,32	0,28	0,34	0,30	0,27
		1,25	0,43	0,37	0,33	0,40	0,35	0,31	0,37	0,33	0,30
		1,5	0,46	0,41	0,36	0,43	0,38	0,34	0,40	0,35	0,33
		2,0	0,51	0,46	0,42	0,47	0,43	0,40	0,44	0,40	0,38
		2,5	0,55	0,51	0,46	0,51	0,47	0,44	0,48	0,44	0,42
		3,0	0,58	0,54	0,50	0,54	0,50	0,47	0,50	0,46	0,44
		4,0	0,62	0,58	0,55	0,57	0,54	0,51	0,53	0,50	0,48
		5,0	0,65	0,61	0,57	0,60	0,56	0,53	0,55	0,52	0,50

FACTOR DE REFLEXIÓN		DEL TECHO	MUY CLARO (70 %)			BASTANTE CLARO (50 %)			BASTANTE OSCURO (30 %)		
		DE LAS PAREDES	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %
TIPO DE APARATO		Indice del local	COE FICIENTES DE UTILIZACIÓN								
10. — Armadura difusora profunda.		0,6	0,18	0,13	0,10	0,16	0,12	0,10	0,15	0,11	0,09
		0,8	0,22	0,18	0,15	0,21	0,16	0,14	0,19	0,15	0,13
		1,0	0,25	0,21	0,18	0,23	0,19	0,17	0,22	0,18	0,15
		1,25	0,29	0,24	0,21	0,26	0,22	0,19	0,24	0,20	0,17
		1,5	0,32	0,27	0,23	0,28	0,24	0,21	0,26	0,22	0,20
		2,0	0,36	0,31	0,27	0,32	0,28	0,25	0,29	0,25	0,23
		2,5	0,39	0,34	0,31	0,35	0,31	0,28	0,32	0,28	0,25
		3,0	0,41	0,37	0,33	0,37	0,33	0,30	0,34	0,30	0,28
		4,0	0,45	0,41	0,37	0,40	0,36	0,34	0,36	0,33	0,31
		5,0	0,47	0,43	0,40	0,42	0,38	0,36	0,38	0,34	0,33
11. — Difusor de dos piezas.		0,6	0,20	0,15	0,13	0,18	0,14	0,12	0,17	0,13	0,11
		0,8	0,25	0,20	0,17	0,23	0,19	0,16	0,21	0,18	0,15
		1,0	0,28	0,24	0,21	0,26	0,22	0,19	0,23	0,20	0,17
		1,25	0,32	0,27	0,24	0,28	0,25	0,22	0,26	0,22	0,20
		1,5	0,34	0,30	0,26	0,31	0,27	0,24	0,28	0,25	0,22
		2,0	0,39	0,34	0,31	0,35	0,31	0,28	0,31	0,28	0,25
		2,5	0,42	0,38	0,38	0,38	0,34	0,31	0,34	0,31	0,29
		3,0	0,44	0,40	0,37	0,40	0,36	0,33	0,35	0,33	0,30
		4,0	0,48	0,44	0,41	0,43	0,39	0,37	0,38	0,35	0,33
		5,0	0,50	0,46	0,43	0,45	0,41	0,39	0,39	0,37	0,35
12. — Difusor de una pieza.		0,6	0,22	0,17	0,14	0,21	0,16	0,14	0,20	0,15	0,14
		0,8	0,27	0,23	0,20	0,26	0,22	0,19	0,25	0,20	0,18
		1,0	0,30	0,26	0,23	0,29	0,25	0,22	0,27	0,23	0,21
		1,25	0,34	0,30	0,26	0,32	0,28	0,25	0,30	0,26	0,24
		1,5	0,37	0,33	0,29	0,34	0,30	0,27	0,32	0,28	0,26
		2,0	0,41	0,37	0,33	0,38	0,34	0,31	0,36	0,32	0,30
		2,5	0,44	0,40	0,36	0,41	0,38	0,35	0,38	0,35	0,33
		3,0	0,47	0,43	0,39	0,43	0,40	0,37	0,39	0,37	0,35
		4,0	0,51	0,47	0,43	0,47	0,44	0,41	0,43	0,41	0,39
		5,0	0,53	0,49	0,45	0,48	0,45	0,42	0,45	0,42	0,40

FACTOR DE REFLEXIÓN		DEL TECHO	MUY CLARO (70 %)			BASTANTE CLARO (50 %)			BASTANTE OSCURO (30 %)		
		DE LAS PAREDES	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %
TIPO DE APARATO		Indice del local	COE FICIENTES DE UTILIZACIÓN								
13. — Taza opal.		0,6	0,18	0,14	0,11	0,15	0,12	0,09	0,14	0,09	0,07
		0,8	0,22	0,18	0,15	0,19	0,15	0,12	0,18	0,12	0,10
		1,0	0,26	0,22	0,18	0,22	0,18	0,15	0,21	0,14	0,12
		1,25	0,30	0,25	0,22	0,25	0,21	0,18	0,23	0,16	0,14
		2,0	0,38	0,33	0,29	0,31	0,27	0,24	0,29	0,21	0,19
		2,5	0,41	0,36	0,32	0,34	0,30	0,27	0,32	0,24	0,22
		3,0	0,44	0,39	0,35	0,36	0,32	0,29	0,34	0,25	0,23
		4,0	0,49	0,44	0,40	0,40	0,36	0,33	0,37	0,28	0,26
		5,0	0,51	0,46	0,42	0,42	0,38	0,35	0,38	0,29	0,28
14. — Taza de alabastro.		0,6	0,15	0,12	0,10	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06
		0,8	0,18	0,15	0,13	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
		1,0	0,21	0,18	0,16	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08
		1,25	0,24	0,21	0,18	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09
		1,5	0,26	0,23	0,20	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10
		2,0	0,29	0,27	0,24	0,23	0,20	0,18	0,14	0,13	0,12
		2,5	0,32	0,29	0,27	0,24	0,22	0,21	0,16	0,14	0,14
		3,0	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,17	0,15	0,15
		4,0	0,38	0,35	0,32	0,28	0,27	0,25	0,18	0,17	0,16
		5,0	0,39	0,36	0,35	0,29	0,28	0,27	0,19	0,18	0,17
15. — Armadura prismática.		0,6	0,19	0,15	0,12	0,16	0,13	0,10	0,12	0,10	0,09
		0,8	0,24	0,20	0,17	0,20	0,17	0,14	0,16	0,14	0,12
		1,0	0,27	0,23	0,20	0,23	0,19	0,17	0,18	0,16	0,14
		1,25	0,31	0,27	0,23	0,26	0,22	0,20	0,19	0,18	0,16
		1,5	0,34	0,29	0,25	0,28	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18
		2,0	0,38	0,34	0,30	0,32	0,28	0,25	0,23	0,22	0,20
		2,5	0,41	0,37	0,34	0,34	0,31	0,28	0,26	0,25	0,23
		3,0	0,44	0,40	0,36	0,36	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24
		4,0	0,48	0,44	0,41	0,40	0,36	0,34	0,30	0,29	0,27
		5,0	0,50	0,46	0,43	0,42	0,38	0,36	0,32	0,30	0,29

FACTOR DE REFLEXIÓN		DEL TECHO	MUY CLARO (70 %)			BASTANTE CLARO (50 %)			BASTANTE OSCURO (30 %)		
		DE LAS PAREDES	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %	Bastante claro 50 %	Algo oscuro 30 %	Muy oscuro 10 %
TIPO DE APARATO		Indice del local	COE FICIENTES DE UTILIZACIÓN								
16. — Parte inferior opal y superior clara.		0,6	0,16	0,12	0,10	0,13	0,10	0,08	0,10	0,07	0,06
		0,8	0,20	0,16	0,13	0,17	0,13	0,11	0,13	0,10	0,09
		1,0	0,23	0,19	0,16	0,19	0,15	0,13	0,15	0,12	0,10
		1,25	0,26	0,22	0,19	0,21	0,18	0,15	0,16	0,14	0,12
		1,5	0,29	0,25	0,21	0,24	0,20	0,17	0,18	0,15	0,13
		2,0	0,32	0,28	0,25	0,26	0,23	0,20	0,20	0,18	0,16
		2,5	0,36	0,31	0,28	0,29	0,26	0,23	0,23	0,20	0,18
		3,0	0,38	0,34	0,31	0,31	0,28	0,25	0,24	0,22	0,20
		4,0	0,42	0,38	0,35	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22
		5,0	0,44	0,40	0,37	0,36	0,33	0,31	0,27	0,25	0,24
17. — Reflector de vidrio plateado.		0,6	0,15	0,12	0,10	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
		0,8	0,18	0,15	0,13	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06
		1,0	0,22	0,19	0,16	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07
		1,25	0,25	0,22	0,19	0,18	0,15	0,13	0,10	0,09	0,08
		1,5	0,27	0,24	0,21	0,20	0,17	0,15	0,11	0,10	0,09
		2,0	0,30	0,27	0,25	0,22	0,19	0,17	0,13	0,11	0,10
		2,5	0,34	0,31	0,28	0,24	0,22	0,20	0,14	0,13	0,12
		3,0	0,36	0,33	0,30	0,26	0,24	0,22	0,15	0,14	0,13
		4,0	0,40	0,37	0,34	0,28	0,26	0,24	0,17	0,15	0,14
		5,0	0,42	0,39	0,37	0,30	0,28	0,26	0,18	0,17	0,15
18. — Taza de hierro esmaltado.		0,6	0,14	0,11	0,10	0,10	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04
		0,8	0,17	0,14	0,13	0,13	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05
		1,0	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06
		1,25	0,23	0,20	0,17	0,17	0,14	0,13	0,10	0,08	0,07
		1,5	0,25	0,22	0,19	0,18	0,15	0,14	0,11	0,09	0,08
		2,0	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,12	0,10	0,10
		2,5	0,31	0,28	0,26	0,22	0,20	0,18	0,13	0,12	0,11
		3,0	0,33	0,30	0,28	0,24	0,22	0,20	0,14	0,13	0,12
		4,0	0,37	0,34	0,32	0,26	0,24	0,22	0,16	0,14	0,13
		5,0	0,39	0,36	0,34	0,28	0,26	0,24	0,17	0,15	0,14

CAPÍTULO VIII

ALUMBRADOS ESPECIALES

1.º Iluminación de escaparates (1). — Los puntos que deben tenerse en cuenta al estudiar la iluminación de un escaparate son los siguientes:

Buen aprovechamiento de la luz.

Evitar *en absoluto* el deslumbramiento.

Obtener una intensidad de iluminación adecuada que evite reflejos perjudiciales en la luna.

Ocultar los aparatos a la vista del público.

Procurar buena distribución de sombras para realzar el efecto plástico.

Hacer que el escaparate destaque, por contraste, resaltando a distancia.

Iluminar con luz de color.

Los aparatos más comúnmente usados son semejantes al de la figura 84; reflectores asimétricos de vidrio plateado, los cuales, según su forma de distribuir el flujo luminoso, se clasifican en *intensivos*, *extensivos* y *concentradores*, cuyas designaciones expresan claramente las características de cada una de las clases de aparatos.

Muchos son los procedimientos de cálculo que pueden seguirse para obtener la iluminación conve-

(1) Para más detalles sobre este punto, recomendamos el folleto *Iluminación de Escaparates*, editado por la Asociación Española de Luminotecnia.

niente en un escaparate en función de sus dimensiones; uno de los procedimientos más sencillos consiste en calcular a base de 100 watios por metro cuadrado de superficie de escaparate, tomando como tal superficie la del piso del escaparate más la del fondo hasta 1,50 de altura sobre el piso. Ejemplo: escaparate de 4 metros de frente por 2,50 de fondo. Superficie: $(4 \times 2,50) + (4 \times 1,5) = 16$ metros cuadrados.

La potencia total necesaria para la iluminación sería de 1.600 watios y el equipo más conveniente de ocho armaduras extensivas con lámparas de 200 watios en la parte superior del escaparate, ó 16 de 100 watios distribuídas arriba y abajo.

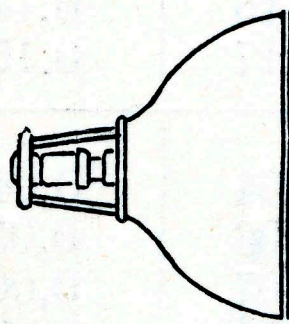
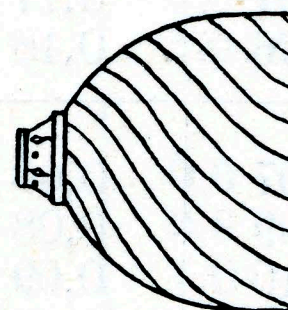
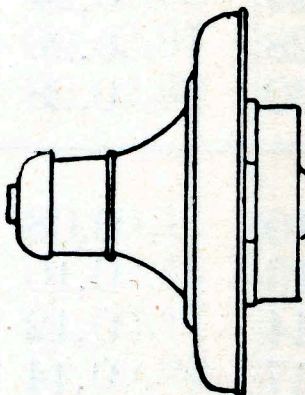
La instalación de alumbrado en los escaparates conviene dividirla en varios circuitos que permitan obtener efectos de luz y sombras.

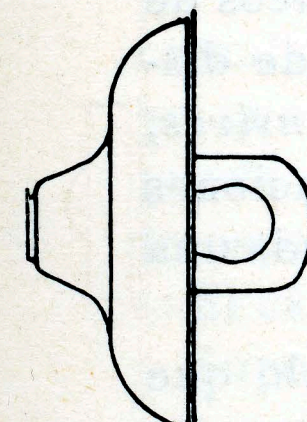
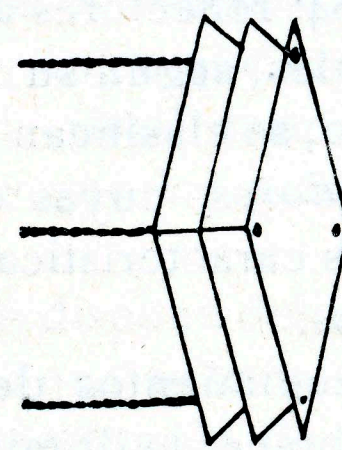
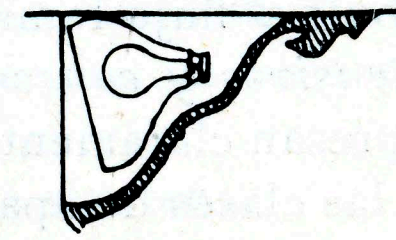
El empleo de la luz de color, mediante filtros de gelatina o vidrio, adaptados a los reflectores, produce un gran afecto de atracción, sobre todo si no se limita a un efecto fijo, sino que se efectúa cambio de colores mediante un sencillo combinador

2.º Iluminación por transparencia. — Es de interés para el estudio de muestras comerciales y elementos decorativos luminosos concebidos a base de cristal opalino, único que creemos debe emplearse, ya que con el cristal deslustrado simplemente no puede evitarse que los puntos de luz se vean por transparencia.

El cálculo se dispone del modo siguiente:

Supongamos que se trata de iluminar por transparencia un rectángulo de 6×2 metros de vidrio opalino, de un rendimiento por transmisión de 40 por 100, con una intensidad de 300 lux. Para colocación de lámparas disponemos de 0,50 metros detrás del cristal. Teniendo en cuenta que en este caso el

19. — Reflector profundo de hierro esmaltado.		Propio para interiores con gran altura de techo, tales como naves de taller con puente grúa. Para tener buena uniformidad conviene que no haya entre aparatos una separación superior a su altura sobre el plano de utilización. Coeficiente de utilización aproximado, 0,52.
20. — Reflector extensivo de vidrio plateado.		Suelen emplearse algunas veces en el interior de locales industriales. Su separación puede ser igual a dos veces su altura sobre el plano de trabajo. Coeficiente de utilización, 5 por 100 más bajo que el del número 4.
21. — Reflector con pantalla contra el deslumbramiento.		Pueden aplicarse en sitios en que la altura de suspensión no es la suficiente para evitar el deslumbramiento. Para tener uniformidad en la iluminación, la separación no debe exceder de dos veces la distancia del plano de utilización. Coeficiente de utilización, 15 por 100 inferior al del número 1.

22. — Reflector con lámpara protegida.		Equipo propio para lugares en que hay vapores corrosivos, gases inflamables o son de temer explosiones de polvos. Coeficiente de utilización, de 10 a 15 por 100 más bajo que para el reflector abierto.
23. — Aparato semindirecto a base de cristal opal plano.		Los aparatos compuestos a base de cristales planos son actualmente de uso frecuente. En tipos semejantes al 23 el coeficiente de utilización puede tomarse igual al del número 14.
24. — Luz indirecta en cornisas.		Tipo de iluminación frecuentemente empleado. El coeficiente de utilización puede tomarse 15 por 100 más bajo que el del número 17.

brillo es igual a la intensidad luminosa, tendremos:

$$\frac{300 \text{ lux}}{0,4} = 750 \text{ lux},$$

que multiplicados por los 12 metros cuadrados de superficie a iluminar, nos da 9.000 lúmenes, que es el flujo total necesario.

Para saber el número de lámparas entre las que hay que distribuir el flujo total necesario, se procede, por tanto, dividiendo la superficie a iluminar en un número de cuadrados iguales, cuya diagonal sea igual, como límite máximo, a *tres veces* la distancia disponible detrás del vidrio a iluminar por transparencia; una vez hecha esta división se destina una lámpara a cada uno de los cuadrados obtenidos con la división, colocándolas de modo que coincidan con la horizontal del centro del cuadrado y a la distancia máxima disponible.

En nuestro ejemplo, dividiríamos primeramente la superficie de 6×2 metros en *tres* cuadrados de 2×2 metros. La diagonal de estos cuadrados mide 2,7 metros, cifra que dividida por 3 nos da 0,9 metros; como sólo disponemos detrás del cristal de 0,50 metros, la solución no es satisfactoria.

Dividimos entonces la superficie en *doce* cuadrados de 1×1 metros. La diagonal de estos cuadrados vale 1,40 metros, que dividido por 3 nos da 0,45, valor aceptable, según lo que antes hemos dicho. La solución sería iluminar con doce lámparas de 60 watios (720 lúmenes), con lo que la iluminación sería algo inferior a los 300 lux requeridos.

3.º Iluminación de fachadas (Floodlight). — La iluminación de fachadas puede tener por objeto el hacer resaltar durante la noche las bellezas arquitectónicas de un edificio o monumento, o bien un fin puramente comercial si se iluminan fábricas,

almacenes, etc., en forma que atraigan la atención de la gente, constituyendo así un eficazísimo reclamo. Este segundo aspecto de la iluminación de fachadas es muy empleado en el extranjero en establecimientos próximos a las líneas férreas.

La iluminación se obtiene por medio de proyectores, con reflector de hierro esmaltado o de vidrio metalizado, que se pueden clasificar en dos grandes clases: de *gran apertura*, llamados también de *cono abierto*, por ser de 90 a 100 grados ordinariamente el ángulo del cono de luz proyectada; éstos se emplean para iluminación de superficies de gran extensión. Los llamados *concentradores* producen un cono de proyección muy cerrado; se emplean para superficies largas y estrechas, como chimeneas, torres, etc.

Al estudiar un proyecto de esta clase deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

1.º Color y naturaleza de la fachada a iluminar. A continuación consignamos los factores de reflexión para diferentes materiales de construcción:

CUADRO XXV

FACTORES DE REFLEXIÓN PARA DISTINTOS MATERIALES

Materiales	Condición	Factor por 100
Mármol blanco.....	Limpio	60-65
Granito.....	—	10-15
Cemento o piedras claras.....	—	10 50
Cemento o piedras oscuras.....	—	25
Cemento o piedra	Muy sucios	5
Pintura clara.....	Nueva	50
Ladrillo blanco.....	Limpio	85
— amarillo	—	35
— rojo.....	—	25

Las cifras consignadas en el cuadro número XXV han de servir de orientación al calcular la iluminación, que debe ser lo suficientemente intensa para que se distinga perfectamente la distinta naturaleza de los materiales iluminados.

2.º La iluminación no debe hacerse nunca de arriba hacia abajo. Iluminando en esta forma las superficies verticales de las fachadas, que no son lisas, sino que presentan salientes, molduras, asperezas, etc., se producen una serie de sombras muy alargadas y dirigidas hacia abajo que producen efecto muy desagradable para el espectador que las contempla mirando de abajo hacia arriba.

3.º El efecto que haya de obtenerse depende en gran proporción de los contrastes; por tanto, la intensidad de iluminación será distinta, según sea la de los alrededores del edificio o monumento que se trata de iluminar; a mayor intensidad de ilumi-

nación en éstos, corresponderá igualmente mayor intensidad en el edificio que se desea hacer resaltar. Se comprenderá, por tanto, que la intensidad de iluminación puede variar entre límites muy extensos.

4.º La colocación *ideal* del proyector frente a la fachada a iluminar es a una altura y una distancia iguales a la *mitad de la altura* de la fachada. Como esto por regla general no puede conseguirse, en la mayoría de los casos se inclina el proyector, e incluso se puede bajar la lámpara lo que permita la forma interior del proyector para aumentar la zona útil abarcada.

Para hacer el cálculo del flujo necesario partiendo de la iluminación que se desea obtener, precisa determinar la superficie iluminada S que cubre un proyector en función de su ángulo de apertura y de la distancia a que lo colocamos en la fachada a iluminar.

Si el proyector está colocado sobre una normal a la superficie a iluminar, figura 91, la intersección del cono con dicha superficie será un círculo de radio a y tendremos

$$a = H \tan \beta$$

$$S = \pi (H \tan \beta)^2.$$

Si, como es más corriente, el eje del cono de proyección es oblicuo a la superficie a iluminar, la intersección es una elipse, cuya superficie en función de los semiejes es $S = \pi ab$, pero siendo éstos desconocidos precisa expresar el valor de la super-

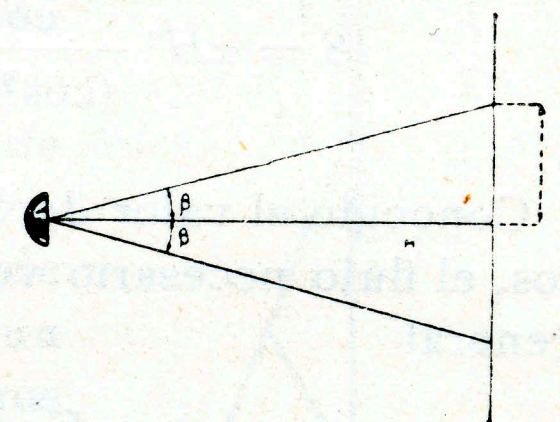


Fig. 91.

ficie en función de la distancia del proyector, de su apertura y del ángulo θ que forma el eje del cono

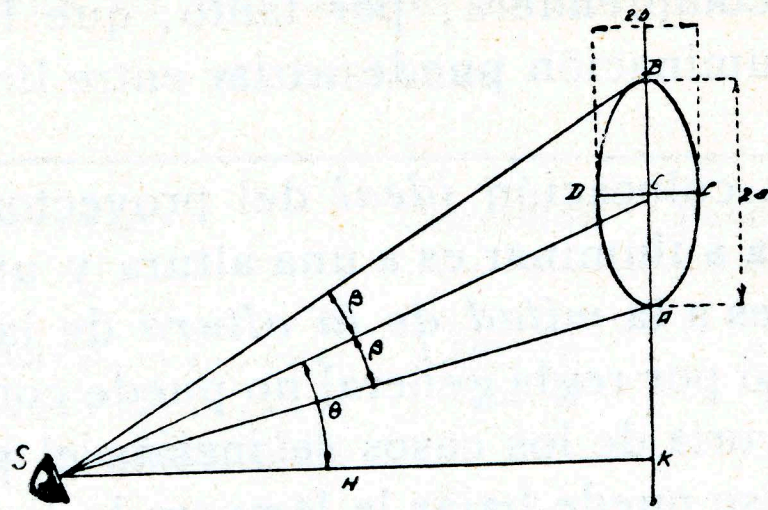


Fig. 92.

luminoso con la normal H a la superficie a iluminar (fig. 92).

Este valor de S se demuestra que viene dado por

$$S = \pi H^2 \frac{\cos \beta - \cos^3 \beta}{(\cos^2 \beta - \sin^2 \theta S)^{\frac{3}{2}}} \quad [I].$$

Conocido el valor de S en cualquiera de los casos, el flujo necesario vendrá dado por la fórmula general

$$F = \frac{ES}{U\rho},$$

en la que E es la iluminación deseada en lux, S la superficie en metros cuadrados, ρ el factor de reflexión de la superficie a iluminar y U un coeficiente de utilización que depende del rendimiento del aparato y de las pérdidas por dispersión, cuyo valor puede variar de un 30 a un 70 por 100, según circunstancias especiales imposibles de enumerar.

El procedimiento de cálculo indicado para el segundo caso, como se ve, conduce a una fórmula de aplicación engorrosa. En la práctica lo que se suele

hacer es atenerse a los datos que las diferentes casas constructoras facilitan en sus catálogos, en los que bien sea por medio de tablas o de curvas, indican las posibilidades y forma en la que deben usarse cada uno de sus tipos de proyectores.

Para el caso en que sin haber hecho previamente elección del aparato que ha de emplearse, se quiera tener una idea aproximada de la potencia y número de aparatos necesarios, podemos dar los siguientes datos prácticos.

En edificios cuyos alrededores sean oscuros o débilmente iluminados, basta con instalar a razón de 15 watios por metro cuadrado de superficie a iluminar, y en el caso que se desee una iluminación intensa, 30 watios. Para obtener uniformidad en la iluminación el número de aparatos debe ser igual al cociente de la longitud de la fachada por la mitad de su altura.

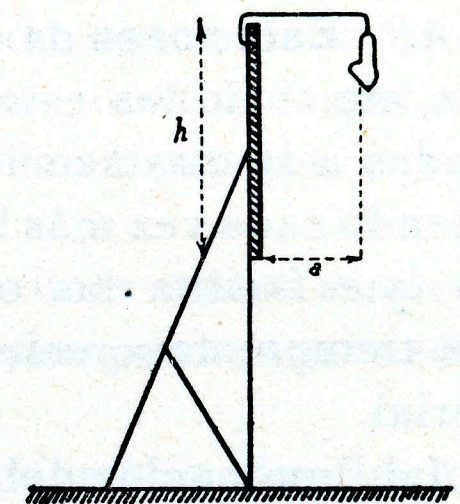


Fig. 93.

Como caso particular de esta clase de iluminación, incluiremos un ejemplo de cálculo correspondiente a un anuncio mural de 5 metros de largo y 1 de alto, cuyo fondo de color verde musgo se desea iluminar con 100 lux. En este caso, figura 93, tratándose de superficies lisas, la iluminación se hace de arriba abajo no debiendo ser el valor de a menor de $\frac{h}{2}$.

Siendo el factor de reflexión para el verde musgo 25 por 100, los lux necesarios serían $\frac{100}{0,25} = 400$. Como la superficie es de 5 metros cuadrados, $400 \times 5 = 2.000$ lúmenes, y admitiendo 25 por 100 como

coeficiente de utilización, en el que incluimos las pérdidas por dispersión, rendimiento del aparato, depreciación, etc.:

$$\frac{2.000}{0,25} = 8.000 \text{ lúmenes serán los necesarios.}$$

Como en este caso precisa una gran uniformidad de iluminación, las lámparas no deben espaciarse mucho; suponiendo que las colocamos a 0,20 metros una de otra, tendríamos $\frac{5}{0,20} = 25$ lámparas y

el flujo por lámpara $\frac{8.000}{25} = 320$ lúmenes; podemos adoptar la solución de colocar 20 lámparas de 40 watios (420 lúmenes), espaciándolas algo más de 20 centímetros.

4.º Estaciones de clasificación, campos de deportes, etc. — En las estaciones de ferrocarriles, destinadas a la clasificación de vagones, se está extendiendo cada vez más la iluminación por proyectores, lo que facilita las operaciones, evitando pérdida de tiempo, favoreciendo la conservación del material.

La iluminación debe ser lo suficientemente intensa para evitar errores de visión que pudieran entorpecer en vez de facilitar las maniobras. En efecto, es sabido que un vehículo en movimiento visto con iluminación pobre, marcha aparentemente con una velocidad mayor que la que realmente le anima, falsa interpretación que puede dar lugar a accidentes y maniobras poco justas.

Esta iluminación se consigue mediante proyectores aislados o agrupados, instalados sobre postes altos (de 18 a 30 metros), con objeto de aminorar el deslumbramiento en lo posible.

Los proyectores se pueden colocar de las siguientes maneras:

El haz luminoso dirigido en sentido del tráfico: evita el deslumbramiento, puesto que la dirección de la visión es la misma que la de los rayos luminosos.

El haz luminoso en sentido inverso al del tráfico: se produce deslumbramiento, más atenuado cuanto más alto se coloquen los focos; el material en movimiento resalta, en cambio, debido al efecto de «silueta» (ver capítulo VI, pág. 105) y los carriles se destacan con gran brillo.

El haz luminoso oblicuo al sentido del tráfico, es el más adecuado, puesto que participa de las ventajas de los dos sistemas antes indicados y atenúa en gran proporción sus inconvenientes.

Como procedimiento de cálculo se puede adoptar el explicado para iluminación de fachadas en su segundo caso; esto es, cuando la intersección del cono luminoso con la superficie iluminada (en este caso la explanación en que están montadas las vías) es una elipse.

Para cálculos rápidos de primer tanteo se puede tomar como base de 5 a 10 watios por metro cuadrado de superficie a iluminar.

En construcciones o cualquier otra clase de trabajo que se quiera acelerar con jornadas nocturnas basta con 3 a 6 watios por metro cuadrado.

El alumbrado por proyectores tiene también una aplicación muy útil en fábricas de explosivos, parques de municiones, etc., por poderse colocar los aparatos de alumbrado lo suficientemente alejados para estar a cubierto de cualquier accidente.

La misma teoría es aplicable a los campos de deportes, teniendo en cuenta que la intensidad de iluminación ha de ser mucho mayor, exigiendo una potencia de 20 a 30 watios por metro cuadrado.

Si se trata de un campo de fútbol, hay que iluminar, no sólo la pista, sino el ambiente hasta una altura de, por lo menos, 15 a 20 metros, de modo que puedan ser vistos por los jugadores los balones elevados. Hay que prevenir, por tanto, dos órdenes distintos de baterías de proyectores dirigidos de distinto modo.

Los proyectores deben ir colocados a una altura de 25 a 30 metros sobre el campo, de modo que queden bastante fuera del campo de visión de jugadores y público.

Se pueden emplear proyectores de haz divergente de apertura comprendida entre 30 y 60 grados tomando para los cálculos un factor de utilización global de 30 a 40 por 100.

Los proyectores deben ser colocados detrás de las tribunas, siendo buena práctica distribuirlos sobre cuatro castilletes de hierro de suficiente elevación implantados en los ángulos del recinto exterior del campo.

5.º Letreros luminosos. — Estimamos de sobra conocidos los procedimientos en uso para obtener letreros luminosos, en los que, según las tendencias modernas, es el artista el que lleva por regla general la iniciativa. Inútil nos parece, por tanto, hacer una reseña de los sistemas empleados hasta el día, por lo que nos limitaremos a dar algunas normas generales que deben tenerse en cuenta al proyectar esta clase de instalaciones.

Irradiación. — Si miramos el filamento de una lámpara encendida a un metro de distancia, nos parecerá solamente algo más grueso que el filamento apagado; si nos vamos retirando de la lámpara, el filamento se va transformando en una esfera luminosa, cuyas dimensiones aparentes van aumentando a medida que nos retiramos, llegando, no sola-

mente a sobrepasar el tamaño de la lámpara, sino a alcanzar un diámetro de 1 a 1,5 metros, si la distancia a que se observa la lámpara es suficiente.

Este fenómeno se conoce con el nombre de *irradiación* y hay que tenerlo muy en cuenta al estudiar un letrero que deba ser observado a distancia, para evitar que las letras se unan unas a otras en forma que sólo se logre apereibir una mancha confusa de luz indescifrable. Por el contrario, apoyándose en este fenómeno de modo adecuado, puede obtenerse que una letra formada con lámparas eléctricas aparecerá a distancia como en trazo luminoso continuo, desapareciendo por completo los espacios oscuros entre lámparas pertenecientes a una misma letra.

La cantidad de irradiación es directamente proporcional a la intensidad luminosa y del grado de oscuridad del fondo; haciendo variar el primero de estos factores se puede llegar a efectos de irradiación convenientes.

El tipo de letra más corrientemente usado para letreros que han de ser vistos a grandes distancias, es el formado por una armadura de cinc o palastro de sección en U, figura 94, que adopta

la forma de la letra que se quiera reproducir; las lámparas se colocan convenientemente espaciadas dentro de la armadura, que debe ir pintada interiormente de blanco mate. Esta armadura en forma de canal es necesaria, no solamente para aumentar el rendimiento luminoso y el efecto de irradiación, sino para preservar a las lámparas de la intemperie. En efecto, si se empleasen lámparas de atmósfera

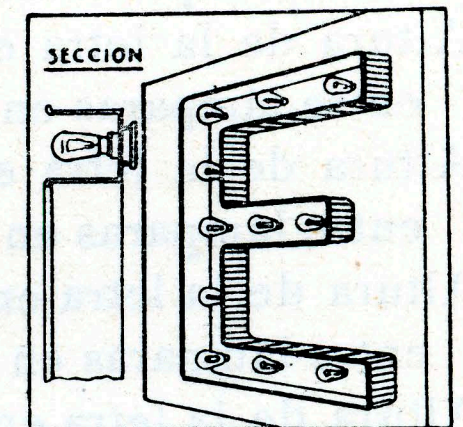


Fig. 94.

gaseosa, colocadas horizontalmente, las temperaturas desarrolladas serían tales que la acción de la lluvia al caer sobre las lámparas haría saltar las ampollas de vidrio; por esta razón es recomendable para esta clase de letreros el empleo de lámparas en vacío.

Para el tamaño de las letras, en función de la distancia a que han de ser observadas, se da la siguiente regla:

$$\text{Altura de la letra en metros} = \frac{\text{Máxima distancia de observación en metros}}{500}$$

Para la separación de las lámparas se puede seguir la siguiente proporción:

Altura de la letra en centímetros, 30. — Distancia entre lámparas en centímetros, 7,5.

Altura de la letra en centímetros, 50. — Distancia entre lámparas en centímetros, 9.

Altura de la letra en centímetros, 80. — Distancia entre lámparas en centímetros, 11.

Altura de la letra en centímetros, 100. — Distancia entre lámparas en centímetros, 12.

Altura de la letra en centímetros, 150. — Distancia entre lámparas en centímetros, 14,5.

Altura de la letra en centímetros, 175. — Distancia entre lámparas en centímetros, 16.

Altura de la letra en centímetros, 200. — Distancia entre lámparas en centímetros, 17.

Para la separación entre letra y letra no se pueden dar reglas, pues depende de los efectos de irradiación, que, como hemos visto, varían de un caso a otro; únicamente podemos aconsejar que la sepa-

ración sea la máxima que permita la composición del letrero para que pueda distinguirse a gran distancia.

En el caso en que la iluminación de las letras quisiera hacerse empleando luz de color en vez de luz blanca, habrá que tener en cuenta los siguientes factores de consumo, aumentando el número de watios en la proporción que se indica en el siguiente cuadro:

CUADRO XXVI

FACTORES DE CONSUMO PARA DIFERENTES COLORES

CO L O R	Lámpara clara	Lámpara mate	Luz del día	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul
Factor equivalente de consumo.....	1	1	1,5	1,5	2	3	4	15

Factor equivalente de consumo.....

ÍNDICE

CAPÍTULO I. — PRODUCCIÓN Y TRANSMISIÓN DE LA LUZ

	Páginas
Naturaleza de la luz.....	7
Propagación de la luz.....	8
Radiaciones luminosas.....	8
Rayos ultravioleta	8
Rayos infra-rojos	9
Escala de vibraciones.....	9

CAPÍTULO II. — VISIÓN

El ojo humano	12
Proceso de la visión	12
Visibilidad de las radiaciones.....	13
Diferenciación de colores	13
Agudeza visual.....	14
Sensibilidad al brillo.....	14
Sensibilidad a los contrastes.....	15
Efectos de tiempo.....	15
Persistencia de las imágenes en la retina ..	16
Deslumbramiento.....	16
Fatiga ocular.....	20

CAPÍTULO III. — MEDIDA DE LA LUZ.
FOTOMETRÍA

Flujo luminoso.....	22
Lumen.....	22
Flujo global.. ..	23
Flujo superhorizontal.	23
Flujo subhorizontal.	23
Intensidad luminosa	23
Intensidad media esférica.....	24
Intensidad hemisférica superior.....	24
Intensidad hemisférica inferior	24
Intensidad media horizontal	25
Factor de reducción de la intensidad media esférica	25
Bujía internacional	25
Iluminación.....	28
Lux	28
Fot.....	28
Milifot	28
Foot-candle.....	28
Brillo.....	32
Luminosidad.....	32
Exposición o cantidad de iluminación.....	33
Cantidad de luz.....	33
Factor de eficacia.....	33
Factor de consumo	34
Factor de reflexión	34
Factor de absorción.....	34
Factor de transmisión	34
Factor de luminosidad	34
Ley de Lambert.....	38
Ley de la inversa al cuadrado de la distancia	38
Ley del coseno	39

Medida de la intensidad luminosa.....	40
Fotómetro de Bunsen.....	41
Fotómetro de Lummer y Brodhun	42
Curvas fotométricas	43
Medida del flujo	44
Lumenómetro o esfera de Ulbricht.....	46
Diagrama de Rousseau.....	48
Medida de la iluminación.....	49
Luxómetro Macbleth.....	50
Luxómetro Mazda	51

CAPÍTULO IV. — LÁMPARAS ELÉCTRICAS

Clasificación de las lámparas	53
Lámparas de arco.....	53
Lámparas de incandescencia (descripción).	54
Lámparas de gas enrarecido o de descarga (descripción).....	54
Clase de luz emitida.....	54
Clase de alimentación.....	55
Empleo de las diferentes clases de lámparas	57
Lámparas de gas enrarecido o de descarga (datos y rendimiento).....	58
Lámparas de nitrógeno y de neon.....	58
Lámparas de incandescencia (datos y ren- dimiento)	59
Lámparas de tungsteno y en atmósfera ga- seosa	60
Calidad de la luz en la lámpara de tungs- teno	65
Brillo. — Lámparas difusoras	66
Efectos de reflexión producidos por la ampolla.....	68
Temperatura de las lámparas.....	69

	<u>Páginas</u>
Designación de las lámparas (consumo- rendimiento)	72
Diversas clases de lámparas con filamento metálico	73
Características de las lámparas de tungsteno	75
Rendimiento de la lámpara de tungsteno...	78
Duración de las lámparas	83

CAPÍTULO V. — DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO

Generalidades	86
Reflexión	87
Reflexión sobre superficies pulimentadas..	87
Reflexión sobre vidrios metalizados por una cara	87
Reflexión sobre porcelana y hierro esmal- tado	87
Reflexión sobre una superficie mate.....	88
Reflexión sobre prismas	88
Reflexión selectiva.....	89
Refracción	91
Difusión	93
Absorción... ..	96
Factor de absorción	97
La reflexión selectiva aplicada a la ilumi- nación.....	97

CAPÍTULO VI. — ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS

Ventajas de un buen alumbrado público ..	103
Puntos principales a estudiar en un proyec- to de alumbrado urbano... ..	104
Condiciones de visibilidad	104

	<u>Páginas</u>
Efectos de silueta	105
Efectos de sombras	105
Naturaleza del pavimento	106
Edificios y árboles	107
Iluminación en diferentes planos.....	107
Distribución de la intensidad empleando armaduras asimétricas	108
Deslumbramiento	110
Clase y condiciones especiales de las vías e iluminación media conveniente	112
Aparatos empleados en el alumbrado pú- blico.....	115
Distribución simétrica y asimétrica	117
Aparatos reflectores	118
Aparatos refractores.....	120
Refractores simétricos.....	121
Refractores asimétricos	122
Curvas de distribución	124
Colocación de los puntos luminosos.. ..	129
Altura de los puntos luminosos sobre el pa- vimento.....	130
Espaciamiento de los puntos luminosos....	130
Coeficiente de uniformidad.....	131
Cálculos de iluminación. — Potencia de los focos luminosos.....	133
Cálculo de iluminación horizontal	134
Cálculo de la iluminación vertical.....	138
Potencia de los aparatos. — Coeficiente de utilización	141
Armaduras asimétricas.....	143
Curvas de iluminación.....	144
Curvas isolux.....	146
Aspecto artístico de las instalaciones....	150
Estudio económico.....	151

CAPÍTULO VII. — ILUMINACIÓN DE INTERIORES

Elección del sistema de alumbrado	153
Alumbrado directo y semiindirecto	153
Alumbrado indirecto.....	154
Comparación de los distintos sistemas.	154
Elección de la intensidad de iluminación ..	157
Elección del tipo de aparato.....	170
Aparatos de alumbrado directo.....	171
Aparatos de alumbrado semidirecto y semiindirecto.....	173
Aparatos de luz indirecta	174
Factor de depreciación de un aparato.....	175
Colocación de las lámparas en los aparatos de alumbrado	176
Iluminación horizontal y vertical	178
Ventilación..	178
Deslumbramiento.....	178
Naturaleza de las sombras arrojadas	180
Facilidad de limpieza	180
Repartición de los puntos luminosos y altura de suspensión.....	180
Plano de utilización	182
Altura de suspensión	182
Distribución de los puntos luminosos.....	183
Cálculo del flujo luminoso de las lámparas.	183
Altura y distribución de los puntos de luz .	186
Cálculo de la intensidad de la iluminación por puntos.....	187
Cálculos abreviados.....	188
Resumen.....	191

CAPÍTULO VIII. — ALUMBRADOS ESPECIALES

Iluminación de escaparates.....	206
Iluminación por transparencia	207
Iluminación de fachadas	208
Estaciones de clasificación, campos de deportes, etc	214
Letreros luminosos	216
Irradiación.....	216

ÍNDICE DE LAS TABLAS

Cuadro n.º	TÍTULOS	Páginas
I	Longitudes de onda y frecuencia para diferentes radiaciones	10
II	Equivalencias entre distintas unidades de medida de intensidad luminosa	27
III	Equivalencias entre medidas de iluminación	30
IV	Equivalencias entre medidas de iluminación	31
V	Brillo de diferentes superficies luminosas	33
VI	Magnitudes fotométricas	36
VII	Rendimiento de las distintas clases de lámparas	56
VIII	Propiedades del tungsteno	62
IX	Brillo y pérdida de luz en distintas clases de lámparas	68
X	Repartición de la energía radiada en una lámpara de 100 watios con filamento de tungsteno	70
XI	Temperaturas de filamentos de distintos tipos de lámpa-	

Cuadro n.º	TÍTULOS	Páginas
	ras con filamento de tungsteno	72
XII	Características de las lámparas de tungsteno	76
XIII	Lámparas en atmósfera gaseosa. Flujo y rendimiento	82
XIV	Reflexión y absorción para diferentes sustancias metálicas	99
XV	Reflexión, transmisión y absorción de diferentes sustancias	100
XVI	Poder de reflexión de los colores	101
XVII	Reflexión difusa de algunas sustancias	102
XVIII	Iluminaciones recomendadas para la vía pública	113
XIX	Clasificación de vías e iluminación recomendada (sistema americano)	114
XX	Factores correspondientes a distintas zonas	127
XXI	Cosenos cuadrados y cosenos cubos de los ángulos comprendidos entre 0 y 84 grados	136
XXII	Valores de α y $\cos^3 \alpha$ en función de $\frac{\alpha}{h}$	137
XXII bis.	Valores recomendados de iluminación en lux de distintos departamentos de establecimientos públicos,	

Cuadro n.º	TÍTULOS	Páginas
	comerciales, industriales y viviendas.....	159
XXIII	Diámetros teóricos y usuales de aparatos de vidrio opalino	179
XXIV	Características generales de distintos aparatos de alumbrado	181
XXIV bis.	Datos, modelos y características de distintos aparatos de alumbrado.....	192
XXV	Factores de reflexión para distintos materiales.....	210
XXVI	Factores de consumo para diferentes colores	220

FE DE ERRATAS

Página	Línea	DICE	DEBE DECIR
17	9	acentuando	acentuado
54	29	las ojos	los ojos
59	18	rendimienta	rendimiento
60	13	se introduce en	se introduce
		un gas	un gas
61	7	resestividad	resistividad
62	9	solamente el	solamente que
		cero	el cero
76	4	Corriente-amperios	Corriente-centésimas de amperios
133	27	nomal	normal
174	7	no existen	no consisten

